corso di
RADIOTECNICA

pubblicazione settimanale - 8 - 15 aprile 1961 - un fascicolo lire 150 28° numero

corso di
RADIOTECNICA

settimanale a carattere culturale

Direzione, Amministrazione, Pubblicità:
Via dei Pellegrini 8/4 - Telef. 593.478
MILANO

Ogni fascicolo — contenente 3 lezioni — costa lire 150, acquistato alle edicole.

Se l'edicola risulta sprovvista, o si teme di rimanere privi di qualche numero, si chieda invio settimanale direttamente al proprio domicilio a mezzo abbonamento.

Il versamento per ricevere i 52 fascicoli costituenti l'intero Corso è di lire 6500 + I.G.E. = lire 6630. A mezzo vaglia postale, assegno bancario, o versamento sul conto corr. postale 3/41.203 del « Corso di RADIOTECNICA » - Via dei Pellegrini 8-4 - Milano.
In ogni caso, scrivere in modo molto chiaro e completo il proprio indirizzo.

L'abbonamento può essere effettuato in qualsiasi momento; si intende comprensivo delle lezioni pubblicate e dà diritto a ricevere tali lezioni, che saranno inviate con unica spedizione.

Estero: abbonamento al Corso, Lit. 8.500. ($ 15). Numeri singoli Lit. 300 ($ 0,50).

Per i cambi di indirizzo durante lo svolgimento del Corso, unire lire 100, citando sempre il vecchio indirizzo.

Fascicoli singoli arretrati — se disponibili — possono essere ordinati a lire 300 cadauno.
Non si spedisce contrassegno.

Distribuzione alle edicole di tutta Italia: Diffus. Milanese . Via Soperga, 57 - Milano.

Direttore responsabile: Giulio Borgogno.

Autorizzaz. N. 5357 - Tribunale di Milano.

Stampa: Intergrafica S.r.l. - Cologno Monzese.

La Direzione non rivende materiale radio; essa può comunicare, se richiesta, indirizzi di Fabbricanti, Importatori, Grossisti ecc. in grado di fornire il necessario ed ai quali il lettore può rivolgersi direttamente.

Alla corrispondenza con richiesta di informazioni ecc. si prega allegare sempre il **francobollo per la risposta.**

Parte del testo e delle illustrazioni è dovuta alla collaborazione del Bureau of Naval Personnel, nonchè al Dept. of the Army and the Air Force - U.S.A.

A chi può essere utile questo Corso? Anzitutto — stante la sua impostazione — il Corso, basato sull'esposizione in forma a tutti accessibile, della radiotecnica, dai suoi elementi basilari alla evoluzione più recente, rappresenta la forma ideale per tutti coloro che intendono dedicarsi all'elettronica, sia come forma ricreativa sia — soprattutto — per l'acquisizione di una professione specializzata che possa procurare loro una posizione di privilegio in seno alla società odierna.

Anno per anno, la nostra civiltà si indirizza sempre più verso questa meravigliosa, si potrebbe dire fascinosa, elettronica, che nel modo più evidente consente sviluppi impensati, progressi grandiosi e una rapida evoluzione di tutti gli altri rami dello scibile che essa tocca e influenza.

L'industria, tutta l'industria, nel senso più ampio, da quella elettrotecnica a quella meccanica, alla metallurgica, alla chimica ecc., con i suoi laboratori di ricerca e le sue fabbriche richiede, e richiederà sempre più, con un ritmo rapidamente crescente, tecnici specializzati con conoscenza dell'elettronica, tecnici specificatamente elettronici e persino operai e impiegati di ogni ordine e categoria con cognizioni di elettronica.

Si può dire che anche le branche commerciali, quelle dei trasporti e persino quelle amministrative con le recenti introduzioni delle calcolatrici, abbisognano di personale che conosca i principi dell'elettronica, le macchine relative, il loro pieno sfruttamento, la eventuale riparazione ecc. e, quanto più in modo completo, quanto meglio.

Nasce, da una tale situazione, una logica conseguenza: per la scelta di una professione o di un mestiere, per un miglioramento della propria posizione sociale, per l'intrapresa di una libera attività o anche per la sola acquisizione di cognizioni che indubbiamente verranno oltremodo utili, è quanto mai opportuno riflettere se non sia conveniente dedicare un po' di tempo allo studio di questa scienza che ha tra l'altro il pregio di rendersi immediatamente attraente, concreta, accessibile e foriera di moltissime soddisfazioni.

A questo scopo appunto, e con questi intenti, è stato redatto questo Corso.

Non mancano invero altri corsi (specie per corrispondenza) o scuole di radiotecnica, nè mancano (sebbene siano in numero del tutto inadeguato) scuole statali o pareggiate ma la struttura e l'impostazione che caratterizzano queste 156 lezioni sono alquanto particolari, presentando non pochi vantaggi sulle diverse altre forme di cui si è detto.

Anzitutto vogliamo porre in evidenza **il fattore economico.**

Frequentare regolarmente, durante tutto l'anno, una scuola è certo il modo più logico — anche se non il più rapido — per apprendere ma, tralasciando il fatto che rarissimi sono gli Istituti di radiotecnica, è a tutti possibile dedicarsi esclusivamente, e per l'intero anno, allo studio? Noi riteniamo che chi può farlo costituisca oggi assai più l'eccezione che la regola. Ciò significa infatti poter disporre liberamente del proprio tempo senza avere la necessità di un contemporaneo guadagno: il nostro Corso permette a chiunque di studiare a casa propria, nelle ore libere dal lavoro, senza abbandonare o trascurare quest'ultimo. Ciò caratterizza invero anche altri corsi, ma il vantaggio economico diviene notevole ed evidentissimo se si considera che di fronte all'esborso, anche se rateale, di quasi 80.000 lire che i corsi per corrispondenza richiedono, seguendo il nostro Corso la spesa in un anno risulta di poco più di 7500 lire (150 lire alla settimana presso un'edicola) o di 6630 lire totali, con recapito postale, settimanale, delle lezioni a domicilio.

E' superfluo dire che la Modulazione di Frequenza, i transistori, i circuiti stampati, la trasmissione, il telecomando ecc. sono argomenti integrali del Corso e non costituiscono motivo di corsi speciali, aggiunti o particolari.

Le lezioni di questo Corso — a differenza di molte altre — non sono stampate con sistemi di dispensa, a ciclostile, o con sistemi più o meno analoghi, derivanti cioè da un originale battuto a macchina da scrivere; esse sono stampate in uno stabilimento grafico, con chiari caratteri tipografici da cui deriva una assai più agevole lettura e — fattore certamente di non secondaria importanza — un contenuto molto più ampio, corrispondendo una pagina a stampa a tre o quattro pagine di quelle citate. Il lettore avrà, alla fine del Corso, un volume di ben 1248 pagine di grande formato!

Chiunque, indipendentemente dall'età, dalla professione e dalle scuole compiute **può seguire il Corso.** Alle esposizioni teoriche si abbinano numerose, attraenti, istruttive ed utili descrizioni che consentono la realizzazione di ricevitori, amplificatori, strumenti vari e persino di trasmittenti su onde corte.

A questo proposito è sintomatico il fatto che la Direzione non vuole assolutamente assumere la fisionomia di un fornitore o commerciante di materiale radio, rivendendo agli allievi le parti necessarie. Il materiale occorrente l'interessato può acquistarlo dove e come meglio crede e, assai spesso anzi, già ne dispone. Viene così evitato l'acquisto forzoso, caratteristico più o meno di tutti gli altri corsi.

Anche chi è già radiotecnico, anche chi ha seguito o segue altri corsi troverà il massimo tornaconto in questo completo ed aggiornato lavoro. Molte nozioni, è logico, saranno note, altre un po' meno e sarà utile rinfrescarle, e il tutto infine costituirà un manuale di consultazione, prezioso tanto per la teoria esposta quanto per i numerosi schemi, per le tabelle, per i grafici, gli elenchi, i dati, il vocabolario dei termini ecc.

Concludendo, si può affermare che questo **Corso di Radiotecnica** oltre che come insegnamento graduale si presenta come **enciclopedia e rivista assieme** ciò che permette di formare — con modestissima spesa — **il più completo, ricco, utile e pratico volume di radiotecnica di cui sia dato oggigiorno disporre.**

SEMICONDUTTORI: IL DIODO A CRISTALLO

Tutti gli argomenti che abbiamo fino ad ora considerato, a partire dalla teoria molecolare ed atomica, fino all'analisi del funzionamento di un ricevitore supereterodina a modulazione di frequenza, costituiscono — in un certo senso — lo studio dettagliato della cronistoria dell'elettronica, almeno per quanto riguarda la radiotecnica dal punto di vista delle telecomunicazioni. In altre parole, abbiamo esaminato fino ad ora l'evoluzione di questa scienza, considerando i vari sviluppi in ordine corrispondente pressochè alla loro successione nel tempo, così come tale evoluzione si è verificata effettivamente in questi ultimi decenni.

Siamo ora arrivati ad un punto in cui è possibile addentrarci nel campo dell'elettronica più recente. Con ciò non intendiamo dire, naturalmente, che un ricevitore a modulazione di frequenza possa essere considerato un apparecchio concettualmente superato. Infatti, abbiamo affermato che questo sistema delle radiocomunicazioni ha preso uno sviluppo tale da sostituire sempre più il sistema a modulazione di ampiezza. Vogliamo riferirci, in particolare, all'avvento dei transistori, i quali — come già abbiamo avuto occasione di constatare — tendono sempre più a sostituirsi alle valvole termoioniche, sia per l'amplificazione in Alta che in Bassa Frequenza, sia per la rivelazione in A.M ed in F.M., sia per altre applicazioni elettroniche (in particolare nel campo delle calcolatrici) che in seguito conosceremo.

Il concetto e la caratteristica principale di un corpo semiconduttore non è nuovo al lettore: abbiamo infatti visto come una sostanza semiconduttrice — ad esempio l'ossido di rame o l'ossido di selenio — consenta il passaggio della corrente elettrica in un'unica direzione, permettendo così la rettificazione della corrente alternata senza l'impiego di una valvola.

Alla lezione 9ª abbiamo appreso, inoltre, come sia possibile utilizzare altre sostanze semiconduttrici — ad esempio, il germanio o il silicio — oltre che per lo scopo citato, anche per un altro tipo di rettificazione, e precisamente per la rivelazione di correnti ad Alta Frequenza. In tale applicazione, l'uso dei semiconduttori è stato notevolmente perfezionato; si è riusciti tra l'altro, ad ottenere, da parte degli elementi rettificatori, caratteristiche di stabilità e uniformità costruttiva tali che oggi un diodo a cristallo è di gran lunga preferibile ad una valvola per gli impieghi nei circuiti ad Alta Frequenza.

Le diverse applicazioni che hanno dato origine agli attuali sviluppi della tecnica dei semiconduttori, grazie ai vantaggi offerti, hanno stimolato l'iniziativa delle industrie e le ulteriori ricerche da parte degli scienziati; si è aperto — con i risultati dei nuovi studi — un nuovo, immenso campo della tecnica elettronica.

E' perciò giunto il momento di analizzare anche questo ramo, iniziando dalla teoria sul funzionamento e sul comportamento delle diverse sostanze semiconduttrici.

Scopo principale di questa lezione è dunque spiegare i principi basilari del funzionamento dei semiconduttori. Gli argomenti qui considerati sono necessari per chiarire alcuni nuovi concetti, in quanto la teoria inerente i transistori è radicalmente diversa da quella fino ad ora considerata per le valvole: per questo motivo, qualora il lettore non abbia acquistato una sufficiente familiarità con la teoria della struttura atomica, sarà opportuno che ne rilegga la lezione relativa pubblicata all'inizio del presente Corso (lezione 4ª).

I SEMICONDUTTORI

Sono oramai universalmente noti i transistori: essi tuttavia costituiscono soltanto una parte della gamma dei dispositivi realizzati mediante l'impiego dei semiconduttori. Nella categoria dei semiconduttori sono inclusi — e vengono anche prima, in ordine di tempo — anche i diodi al « germanio », impiegati come rivelatori, discriminatori, interruttori e limitatori, nonchè i diodi al silicio, impiegati comunemente, oltre che per gli scopi ora menzionati, persino come mescolatori nei circuiti di conversione di ricevitori televisivi se funzionanti su frequenze assai elevate (canali U.H.F.).

Il vecchio ricevitore a galena, basato sull'impiego di un pezzo di tale materiale detto in linguaggio chimico « solfuro di piombo », e del cosidetto « baffo di gatto », costituisce — come abbiamo altrove detto — una delle più antiche applicazioni dei semiconduttori nel campo della radiotecnica.

Il funzionamento dei transistori, e quello dei diodi a cristallo, dipende dunque dalle caratteristiche elettriche di una categoria di sostanze, note col nome di semiconduttori. Con questo nome, si definiscono le sostanze solide la cui conduttività è maggiore di quella delle sostanze isolanti, ma molto inferiore a quella dei buoni conduttori.

In determinati casi, i materiali semiconduttori si comportano esattamente come corpi isolanti, e solò in seguito al verificarsi di particolari condizioni (introdu-

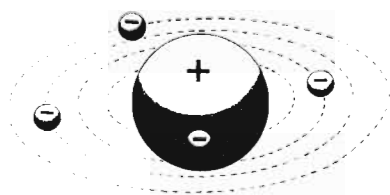



Fig. 1 - Gli elettroni, o cariche negative, gravitano intorno al nucleo, costituito da cariche positive di pari entità, descrivendo delle orbite regolari. Nei corpi conduttori, gli elettroni delle orbite esterne possono allontanarsi dall'atomo.

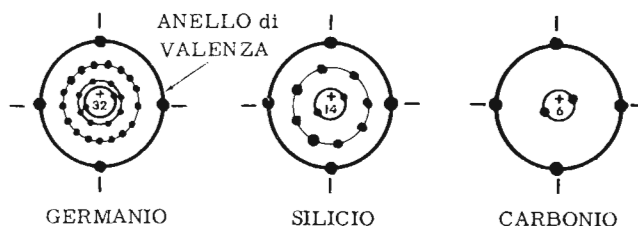



Fig. 2 - Nell'esempio illustrato, si nota che l'atomo di germanio, quello di silicio, e quello di carbonio, pur differendo nel numero di elettroni totale, hanno in comune la caratteristica di avere quattro elettroni nelle orbite esterne, ossia quattro valenze.

zione di impurità, aumento di temperatura, ecc.) assumono le prerogative elettriche sfruttate dall'elettronica.

Il germanio ed il silicio, combinati — come vedremo tra breve — con alcune impurità, sono i tipi più comuni di semiconduttori. Esistono anche altre sostanze aventi proprietà analoghe, che però non vengono impiegate diffusamente così come quelle cui abbiamo ora accennato. I principi che determinano il comportamento del germanio e del silicio possono essere applicati facilmente anche a dette sostanze; per questo motivo possiamo occuparci esclusivamente delle applicazioni del germanio e del silicio.

ELETTRONI e CAVITA' nei SEMICONDUTTORI

Il più recente concetto associato alla teoria del funzionamento dei transistori, è che esistono due tipi di correnti — diverse e distinte — che possono scorrere in un semiconduttore. Una di esse è la ben nota corrente elettronica, che consiste nello spostamento di elettroni liberi o « in eccesso », sotto l'influenza di un campo elettrico. In questo caso si ha appunto la « conduzione per eccesso », in quanto gli elettroni presenti in abbondanza nella struttura atomica della materia in prossimità dell'elemento negativo, si spostano verso il terminale positivo dove invece essi risultano in difetto.

Il secondo tipo di corrente costituisce invece la conduzione « per deficit », detta anche « di cavità », la quale si verifica in quei materiali in cui il grado di valenza chimica che unisce tra loro gli atomi di vari elementi, viene indebolito a causa della mancanza di elettroni. Questa mancanza di elettroni lascia dei vuoti o cavità nella struttura molecolare, da cui il nome al tipo di corrente.

Ricordiamo a questo proposito, che gli atomi di uno stesso elemento, o anche di vari elementi riuniti in un determinato rapporto quantitativo per formare una sostanza, si allacciano — per così dire — gli uni agli altri, costituendo così delle molecole, grazie alla cosiddetta « valenza ». La valenza può essere considerata come un rapporto tra il numero di atomi di idrogeno che potrebbero entrare a far parte di una molecola di una determinata sostanza, ed il numero di atomi di un altro elemento che potrebbero sostituirli per formare una sostanza diversa, altrettanto stabile.

Come in ogni altro campo scientifico, anche nei confronti della valenza è stata stabilita una unità di misura: l'idrogeno — infatti — ha una valenza pari a 1, mentre — ad esempio — l'ossigeno, ha una valenza pari a 2.

Ricorriamo, per maggior chiarezza, ad un esempio: dalla chimica apprendiamo che l'acqua è una sostanza chimicamente stabile, e che una molecola di acqua è costituita da un atomo di ossigeno e da due atomi di idrogeno (H_2O), come abbiamo visto alla lezione 11ª. Risalendo ora al concetto di valenza, osserviamo che per creare una molecola stabile di acqua, nella quale è presente un atomo di ossigeno (O), ne occorrono due di idrogeno (H_2). Se gli atomi di idrogeno fossero tre, o uno solo, la molecola sarebbe chimicamente instabile, e tenderebbe automaticamente a perdere un atomo di idrogeno nel primo caso, o ad assimilarne uno nel secondo, per completarsi nella formula dell'acqua, H_2O.

Analogamente, la molecola di metano consta di un atomo di carbonio (C), e di quattro atomi di idrogeno (H_4). Ciò significa che, come abbiamo visto, l'atomo di idrogeno ha solamente una valenza, e, se ne occorrono quattro per formare una molecola chimicamente stabile di metano, l'atomo di carbonio deve necessariamente avere quattro valenze. La formula chimica del metano è infatti CH_4.

Vediamo ora cosa accade in una sostanza a base — ad esempio — di silicio. Esiste una sostanza, denominata « siliciuro di carbonio », la cui formula è CSi. Confrontando questa formula con quella del metano, notiamo che per sostituire quattro atomi di idrogeno (H_4) è stato sufficiente un solo atomo di silicio (Si). Dal momento che il carbonio ha — come abbiamo visto — quattro valenze, ciò significa che anche il silicio ne ha quattro.

I due atomi possono quindi equilibrarsi a vicenda, in quanto ciascuno di essi ha quattro valenze che vengono — per così dire — soddisfatte dalle quattro valenze dell'altro.

Se creiamo volutamente un composto formato da molecole nelle quali gli atomi di silicio e quelli di carbonio non siano in numero eguale, otteniamo una sostanza incompleta, in quanto alcune valenze restano libere, lasciando dei vuoti detti — ripetiamo — cavità. Se ai capi di un frammento di tale materiale viene applicato un campo elettrico, ossia una differenza di potenziale, gli elettroni si spostano di vuoto in vuoto, per completare la struttura degli allacciamenti tra gli atomi, do-

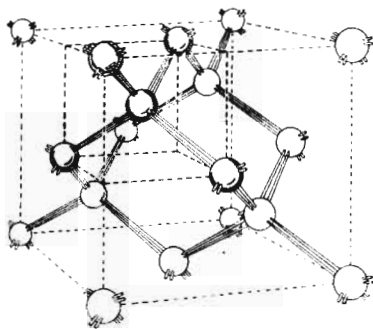



Fig. 3 - Rappresentazione tridimensionale di una struttura cristallina. Si notino i legami di co-valenza.

LEGAMI COVALENTI

Fig. 4 - Rappresentazione bidimensionale della struttura cristallina di figura 3. La forza che unisce gli atomi è dovuta a due valenze.

vuti alle valenze; in tal modo, dal momento che ogni spostamento di un elettrone determina lo spostamento di una cavità in senso opposto, si crea un movimento apparente di tali cavità attraverso il materiale, in senso opposto a quello degli elettroni. Il lettore ricorderà che questo concetto è già stato spiegato sommariamente a pagina 322, figura 1.

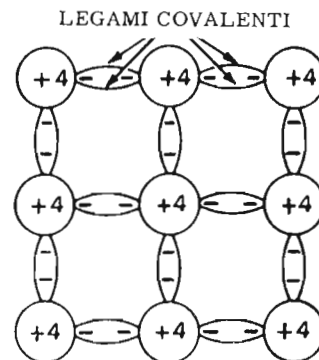
Il movimento apparente di tali vuoti presenta una certa analogia col movimento delle bolle di vapore in un recipiente ricolmo di liquido in ebollizione: in questo caso, infatti, ogni goccia d'acqua che evapora sul fondo sale alla superficie, ed il posto lasciato di conseguenza libero viene immediatamente riempito da una corrispondente quantità d'acqua. In altre parole, avvengono contemporaneamente due movimenti, di cui uno verso l'alto costituito dalle bolle, (le quali sono paragonabili alle cavità), ed uno verso il basso, costituito dalle goccie d'acqua (paragonabili agli elettroni), che sosostituiscono le prime. Analogamente, il movimento delle cavità, elettricamente positive, avviene in senso opposto a quello degli elettroni, ossia delle cariche negative.

Dal momento che la cavità considerata non è che una assenza di un elettrone, essa è di conseguenza una carica positiva: inoltre dal momento che si sposta in una determinata direzione, costituisce una vera e propria corrente.

Si può quindi parlare di una **corrente di cavità**, ossia di uno **spostamento di cariche positive** attraverso il semiconduttore.

Una breve ricapitolazione in merito alla struttura atomica delle sostanze cristalline — ripetiamo — può aiutare il lettore a comprendere tale forma di conduzione. Ricordiamo che, per sostanza cristallina, si intende una sostanza nella quale gli atomi sono reciprocamente sistemati in un ordine regolare.

STRUTTURA ATOMICA

Come sappiamo, ogni atomo consiste in un nucleo positivo che contiene un certo numero di protoni, e che — a sua volta — è circondato da un egual numero di elettroni che ruotano nelle rispettive orbite (vedi **figura 1**). Ciascuna orbita non può contenere elettroni in numero superiore ad un massimo, che dipende dalla natura dell'elemento.

Quando un'orbita contiene il numero massimo di elettroni, può essere considerata completa. In molti tipi di atomi, le orbite più interne sono sempre complete, mentre quella più esterna può, invece, essere incompleta. Le prime, unitamente al nucleo atomico, costituiscono il nucleo ionico avente una carica nettamente positiva. Tale nucleo può essere considerato completamente inattivo agli effetti delle reazioni chimiche e dei fenomeni elettrici. Le caratteristiche chimiche ed elettriche di quella data sostanza vengono determinate unicamente in base alle caratteristiche dell'orbita elettronica esterna.

STRUTTURA di un CRISTALLO

Alcuni degli elettroni esterni determinano la caratteristica di «valenza chimica» nei confronti degli atomi adiacenti. Le «valenze» propriamente dette, che tengono gli atomi rigidamente nella loro posizione nelle sostanze cristalline, sono stabili per un determinato numero di elettroni.

L'atomo di germanio — ad esempio — ha 32 elettroni che ruotano intorno al nucleo; ventotto di essi sono strettamente legati al nucleo stesso, mentre i rimanenti quattro prendono parte attiva alle reazioni chimiche, ed hanno notevole importanza agli effetti del funzionamento dei transistori: l'atomo di germanio, unitamente a quello di silicio e di carbonio, è illustrato alla **figura 2**.

E' opportuno notare che il silicio assomiglia al gernio in quanto entrambi hanno in comune la caratteristica di essere tetravalenti, ossia, in entrambi, solo quattro degli elettroni esterni possono partecipare alle reazioni chimiche. Ognuna delle quattro valenze di ogni singolo atomo costituisce il legame con uno dei quattro più vicini. In altre parole, tali elettroni, accoppiati a due a due, sono comunemente noti come legami di co-valenza, e costituiscono l'anello di congiunzione tra le coppie di atomi adiacenti: determinano — cioè — la causa della coesione tra di essi nelle strutture cristalline, come accade — ad esempio — nella struttura del silicio e del germanio.

La struttura cristallina tridimensionale illustrata nella **figura 3** illustra i legami di co-valenza che uniscono gli atomi tra loro. L'insieme è ridisegnato in maniera bidimensionale nella **figura 4**, nella quale si può notare

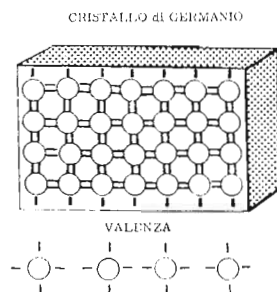



Fig. 5 - Rappresentazione schematica della struttura del germanio puro. Come si nota, tutte le valenze sono allacciate a due a due tra gli atomi. Le valenze esterne superiori si intendono allacciate a quelle inferiori.

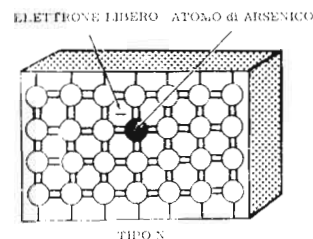



Fig. 6 - La presenza di un atomo di impurità, ad esempio di arsenico, nel germanio, comporta la presenza di una valenza libera, essia di un elettrone libero di muoversi internamente al cristallo. In questo caso il semiconduttore è del tipo « n ».

che ogni allacciamento tra due atomi adiacenti è dovuto a due elettroni, uno per atomo, il che determina un legame stabile.

Per semplicità di esposizione, ed in riferimento ai due elementi cui abbiamo or ora accennato, supponiamo che, dal momento che gli elettroni delle orbite interne sono inseparabili dal nucleo, essi costituiscano con questo un nucleo vero e proprio. Detto nucleo ha una propria carica positiva pari a 4, bilanciata dalla eguale carica negativa costituita dai quattro elettroni che ruotano all'esterno. Questa condizione è appunto quella illustrata nella figura 2.

CARATTERISTICHE del GERMANIO

La **figura 5** rappresenta la struttura cristallina del germanio puro. Non è difficile notare che tutti gli atomi sono equidistanti tra loro, e che nello spazio interposto tra ogni coppia di essi, si trovano esattamente due valenze, corrispondenti a due elettroni, o cariche negative.

Nella struttura cristallina del germanio puro esiste una condizione di equilibrio secondo la quale tutte le forze di attrazione e di repulsione tra gli atomi e gli elettroni, si bilanciano reciprocamente con la massima esattezza.

Il germanio, allo stato puro, si comporta come un elemento isolante; ciò è vero in quanto non esistono in questo elemento elettroni mobili atti a permettere il passaggio di una corrente elettrica. Tuttavia, a causa della agitazione termica, già alla normale temperatura ambiente, alcuni elettroni acquistano una energia sufficiente a spezzare i legami che li trattengono divenendo perciò elettroni liberi. Questi elettroni, potendo spostarsi liberamente attraverso la struttura cristallina, sono disponibili per costituire una eventuale corrente in movimento.

In conseguenza a questo fenomeno, sia il germanio che il silicio vengono classificati tra i corpi semiconduttori piuttosto che tra quelli isolanti.

Quasi tutti i dispositivi, il cui funzionamento è basato sulle caratteristiche dei semiconduttori, permettono il passaggio della corrente più facilmente in un senso che nell'altro; per questo motivo essi possono essere usati sia come rettificatori che come diodi rivelatori. Inoltre, il passaggio di detta corrente può essere quantitativamente variato mediante l'influenza di condizioni fisiche o di forze esterne, come ad esempio la luce, il calore o i campi elettrici. Quest'ultima proprietà ha reso possibile la realizzazione del transistore.

Se un piccolo frammento di germanio o di silicio, i cui allacciamenti interatomici siano stati interrotti, viene sottoposto ad un campo elettrico, si ha la presenza di **due** correnti di diverso genere. La prima è costituita dagli elettroni che si spostano nella direzione della forza applicata, ed è la nota corrente elettrica: la seconda è invece costituita dalle cavità che si spostano in senso inverso a quello degli elettroni.

In altre parole, un atomo contenente una cavità, può prelevare un elettrone da un atomo neutro adiacente, ed in tal modo — mentre il primo viene completato — il secondo assume le caratteristiche che aveva il primo, in quanto resta a sua volta privo di un elettrone. Detta cavità può quindi spostarsi da un atomo all'altro attraverso il materiale. In effetti, essa si comporta esattamente come se fosse un elettrone caricato positivamente.

L'effetto di tali spostamenti, considerato nei confronti di tutti gli atomi costituenti il cristallo, può quindi essere paragonato ad una corrente di cariche elettriche positive.

Come si è detto, le due correnti prendono il nome di corrente elettronica e corrente di cavità.

ELEMENTI DONATORI e RICETTORI

Se una impurità, ad esempio una minima quantità di arsenico, viene inserita in un semiconduttore come il germanio o il silicio (vedi **figura 6**), una eventuale differenza di potenziale applicata ai capi di un frammento della sostanza così costituita, determina una corrente elettronica più intensa che non quella di cavità. Ciò deriva dal fatto che ogni atomo di arsenico, provvisto di cinque valenze dovute alla presenza di cinque elettroni nell'orbita esterna, allorchè viene introdotto nel germanio o nel silicio come minima quantità di impurità, causa lo spostamento di un atomo di tale elemento, e costituisce 4 possibilità di allacciamento usufruendo di 4 dei suoi elettroni di valenza che si allacciano con le valenze disponibili nella struttura cristallina. L'elettrone restante non ha a disposizione altri elettroni con i quali allacciarsi, e — di conseguenza — rimane libero di muoversi internamente al cristallo.

Un semiconduttore in cui si abbia un **eccesso di elet-**

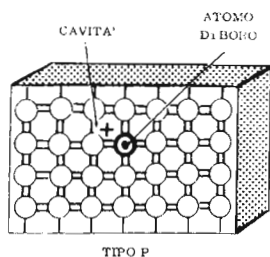



Fig. 7 - Se l'impurità aggiunta al cristallo di germanio è — ad esempio — un atomo di boro invece che di arsenico, si ha una « cavità » libera invece di un elettrone. Essa rappresenta una carica positiva, ed in tal caso il semiconduttore è del tipo « p ».

Fig. 8 - Una giunzione è formata da due strati, di cui uno di tipo « n », ed uno di tipo « p ». La diversa polarità costituisce una carica statica.

troni, come al esempio il germanio con arsenico, viene classificato come sostanza del tipo « n », in quanto il **mezzo vettore della corrente di passaggio è costituito da elettroni negativi.**

L'arsenico, il fosforo, l'antimonio ed altre impurità che possono essere utilizzate per la produzione di semiconduttori del tipo « n » vengono chiamati **donatori**.

Se una impurità diversa dal citato arsenico, ad esempio il boro, viene aggiunta all'elemento semiconduttore, la sostanza risultante ha un eccesso di cavità positive. Ciò deriva dal fatto che il boro ha soltanto tre elettroni di valenza, ossia ha un numero di valenze insufficiente per completare la struttura chimica del cristallo. Ne consegue che, allorchè un atomo di boro sposta un atomo di germanio, una delle valenze corrisponde ad una cavità, ossia ad una mancanza di un elettrone (vedi **figura 7**).

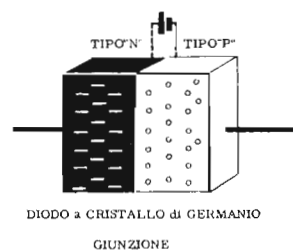
Questa cavità, o insufficienza di allacciamento tra gli atomi, può essere colmata da una valenza (elettrone) di un atomo adiacente, il quale, a sua volta, lascia un'altra cavità nell'atomo dal quale proviene.

Si può perciò dire che la cavità stessa si muove e contribuisce con ciò a dare una certa conduttività alla sostanza alla quale appartiene. I semiconduttori aventi un **eccesso di cavità** vengono detti di tipo « **p** ». L'alluminio, il gallio, l'indio, il boro, ed altre **impurità che permettono la produzione di semiconduttori del tipo « p » vengono denominati elementi « ricettori ».**

Allo scopo di aiutare il lettore a ricordare la classificazione dei due tipi di semiconduttori, citiamo una regola mnemonica derivante dalla lingua inglese. La parola « *doNor* » (parola inglese che significa donatore) contiene la lettera *N*, per cui gli elementi donatori sono del tipo « n »: analogamente la parola « *accePtor* » (in italiano ricettore) contiene la lettera *P*, e gli elementi ricettori sono appunto del tipo « p ».

Si noti infine che, mentre le valvole termoioniche sono basate sulla conduzione di elettroni, ciò non sussiste nel caso dei transistori; il loro funzionamento infatti non è basato esclusivamente sul movimento degli elettroni, bensì anche su quello ora visto delle cavità.

Il DIODO a GIUNZIONE

La **figura 8** illustra la giunzione di due sostanze semiconduttrici, di cui una del tipo *n* ed una del tipo *p*, ai capi della quale non è applicata alcuna differenza di potenziale. Nella regione di tipo *n* si ha, come sappiamo, abbondanza di elettroni (cariche negative), mentre nella regione di tipo *p* si ha abbondanza di cavità (assenza di elettroni, ossia cariche positive).

Si ha così un classico esempio di diodo a cristallo di germanio, del tipo a giunzione. In pratica, un diodo di questo tipo può essere considerato come un condensatore avente una certa carica, in quanto una delle armature è positiva, mentre l'altra è negativa. La linea, o meglio il piano che separa le due sostanze (barriera isolante), assume le funzioni che il dielettrico ha nei confronti del condensatore vero e proprio.

L'unica differenza tra il condensatore e il diodo risiede nel fatto che, mentre attraverso il primo si ha un impulso di corrente di spostamento, se viene sottoposto ad una differenza di potenziale a corrente continua, ed una vera e propria corrente di spostamento se sottoposto ad una tensione alternata, senza però che gli elettroni possano trasferirsi effettivamente da un elettrodo all'altro, nel diodo a cristallo si hanno invece due correnti elettriche attraverso la barriera isolante, ciascuna in un senso se il potenziale applicato è a corrente continua e di polarità favorevole al senso di conduzione, e ciascuna alternativamente nei due sensi, se il potenziale è invece alternato. Ovviamente, in quest'ultimo caso, a causa delle proprietà intrinseche del diodo come rettificatore, tali correnti hanno un'intensità massima in una direzione, e minima nell'altra.

Quando una tensione a corrente continua viene applicata ai capi di tale giunzione, l'intensità della corrente che può scorrere internamente ad essa è in relazione — ripetiamo — alla polarità del potenziale applicato. In pratica, una giunzione come quella di cui si è detto, si presenta come un unico frammento di materiale (ossia come un unico cristallo), pur essendo diverse le caratteristiche elettriche dei due lati opposti.

La costruzione di una giunzione *p-n* viene effettuata mediante un processo molto complesso; non è possibile ottenere un risultato soddisfacente, mettendo semplicemente in contatto tra loro due quantità di sostanza rispettivamente del tipo *n* e del tipo *p*. Dal momento quindi che non è possibile produrre tali giunzioni meccanicamente, sono stati elaborati due sistemi, uno noto col nome di « giunzione a fusione o lega » e l'altro col nome di « giunzione per accrescimento ».

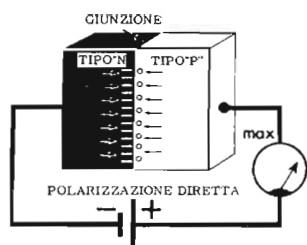



Fig. 9 - Applicando ai capi della giunzione una tensione con polarità favorevole, si ha il passaggio della massima corrente (diretta).

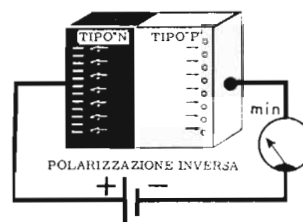



Fig. 10 - Se invece la tensione applicata è nel senso sfavorevole, si ha il passaggio di una corrente minima, (detta inversa).

La giunzione per accrescimento viene effettuata apportando delle variazioni alla fusione (ossia al germanio o al silicio ad alto grado di purezza ed allo stato di fusione) mediante l'aggiunta di impurità. All'inizio del processo di cristallizzazione, si aggiunge una impurità di un tipo, mentre verso la metà del processo si aggiunge una impurità del tipo opposto. Si ottiene la giunzione allorchè il materiale fuso si convèrte dal tipo *p* al tipo *n*, o viceversa.

La giunzione a fusione — invece — viene prodotta introducendo una particella minima di indio tra due strati di germanio del tipo *n*, e facendo in modo che detti strati fondano mediante l'applicazione di una certa temperatura. Allorchè si verifica la fusione, la presenza dell'indio determina la formazione del germanio del tipo *p* immediatamente al di sotto della superficie. Si ha perciò una giunzione del tipo *p-n* tra detta regione e la parte restante dei due strati sovrapposti del tipo *n*.

Nell'eventualità che una giunzione *p-n* venga collegata ad una sorgente di energia in modo tale che il terminale negativo sia in contatto col materiale di tipo *n* (**figura 9**), gli elettroni liberi si spostano da detto terminale positivo in direzione della giunzione, nel qual punto essi si combinano con gli elettroni liberi del materiale di tipo *n*.

In tali condizioni, la giunzione permette il libero scambio di cariche positive e negative (cavità ed elettroni), per cui può aver luogo un passaggio di corrente di intensità relativamente notevole. Una differenza di potenziale avente tale polarità viene definita « tensione di polarizzazione diretta ».

Se la polarità della tensione applicata alla giunzione viene invertita, le cavità presenti nel materiale di tipo *p* vengono attirate in modo che si allontanino dalla giunzione e si dirigano verso il terminale negativo della tensione applicata. Analogamente, nel materiale di tipo *n*, gli elettroni si dirigono verso il terminale positivo fino al momento in cui l'attrazione contraria delle cariche presenti negli atomi immobili di impurità, ne arresta il passaggio. In questo caso, la regione che si trova in prossimità della giunzione resta priva sia di elettroni che di cavità, per cui diventa isolante. Detta regione assume allora caratteristiche tali da costituire uno strato separatore detto appunto **barriera**. Ciò non deve essere inteso nel senso che esiste una vera e propria barriera fisica; il suo effetto può essere considerato semplicemente potenziale. La barriera infatti, non è altro che un isolamento temporaneo, causato dall'assenza di elettroni e di cavità. Una differenza di potenziale applicata con tale polarità viene denominata «tensione di polarizzazione inversa » (vedi **figura 10**).

In tali condizioni, la resistenza interna assume un valore molto alto, per cui l'intensità della corrente che circola è minima, mentre — contemporaneamente — si sviluppa un forte campo elettrostatico. La debole corrente inversa così prodotta viene denominata « corrente inversa di saturazione ».

Il DIODO a PUNTA di CONTATTO

Se il materiale del tipo *p* viene messo in contatto con una punta metallica, e se il metallo che la costituisce viene reso più negativo del materiale stesso mediante una sorgente esterna, la punta di contatto fornisce elettroni al semiconduttore che ne è relativamente privo. Analogamente, il materiale del tipo *n* ha — come sappiamo — un eccesso di elettroni. Una punta metallica in contatto con quest'ultimo, avente un potenziale positivo, asporta elettroni dal cristallo lasciando al loro posto delle cavità. Questo fenomeno è noto col nome di « iniezione di cavità ». Vi sono numerosi tipi di diodi a cristallo, attualmente impiegati nell'industria elettronica, del tipo a « punta di contatto ». Questo tipo di diodo si differenzia da quello a giunzione, o a lega, per il fatto che consta di un solo elemento semiconduttore, e precisamente o di un frammento di germanio (tipo *n*), o un frammento di silicio (tipo *p*). Durante il processo di fabbricazione, (sul quale non ci dilunghiamo in quanto esso costituisce un argomento che esula dallo scopo di questo Corso), in prossimità della punta di contatto, alla quale fa capo uno dei poli del diodo, si forma — per così dire — una regione di tipo opposto a quello che costituisce il cristallo stesso. In altre parole, se il cristallo è di germanio, si forma una piccola regione di tipo *p*, e se è invece di silicio, la regione che viene a crearsi immediatamente intorno al punto di contatto è di tipo *n*. Il motivo per cui ciò si verifica non è ancora chiaro, e non è possibile enunciare in termini accessibili una teoria che possa spiegare il fenomeno della formazione di questa regione. Ci limitiamo pertanto ad affermare che il diodo a punta di contatto è nato in se-

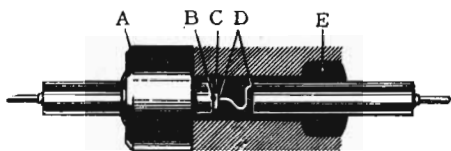



Fig. 11 - Struttura interna di un diodo a cristallo, del tipo a punta di contatto. A) Involucro esterno; B) Supporto del cristallo; C) Cristallo; D) Punta di contatto (baffo di gatto); E) Guarnizione ermetica. I due terminali di uscita sono isolati dall'involucro.

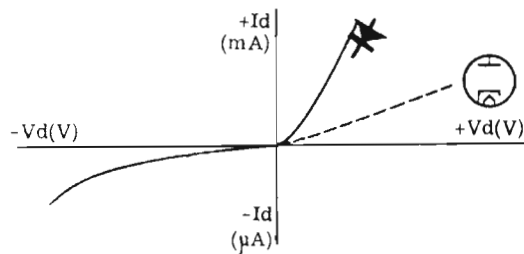



Fig. 12 - Confronto tra la curva caratteristica di un diodo a cristallo, e quella di un diodo a valvola. Come si nota, nel diodo a cristallo l'aumento di corrente è proporzionalmente maggiore dell'aumento di tensione, contrariamente a quanto avviene nella valvola, nella quale la variazione è pressochè lineare.

guito a prove sperimentali di laboratorio, e che è stato successivamente perfezionato fino a renderlo adatto all'impiego come rivelatore di onde a frequenza elevatissima. La struttura interna di un diodo di questo tipo è illustrata alla **figura 11**.

L'IMPIEGO dei DIODI a CRISTALLO

Come abbiamo già avuto occasione di constatare, il diodo a cristallo offre notevoli vantaggi rispetto al diodo a vuoto di cui ci siamo occupati a fondo nella lezione 43ª. Esso non necessita — innanzitutto — di una tensione di accensione, in quanto privo di filamento. In secondo luogo, specie nel caso del tipo a punta di contatto, ha una capacità interelettrodica che può essere considerata trascurabile. Infine, particolare di non lieve importanza, viene realizzato in dimensioni talmente ridotte, che il volume di un diodo a valvola, sia pure il più piccolo, potrebbe comodamente contenerne un centinaio.

Nel suo aspetto, il diodo a cristallo si presenta come illustrato alla figura 14 di pagina 61, che ne rappresenta alcuni esemplari. Il cristallo è normalmente contenuto in un involucro di vetro o di metallo, dal quale escono due terminali, facenti capo — a seconda del tipo — ai due elementi della giunzione, oppure al cristallo ed alla punta di contatto.

In questi ultimi anni, il numero di impieghi in cui il diodo a cristallo ha trovato corrente applicazione è notevolmente aumentato. A parte la miniaturizzazione nel campo degli apparecchi radio, questi diodi vengono vantaggiosamente impiegati negli strumenti di misura (voltmetri a valvola, ponti, ecc.) ed in apparecchiature a carattere industriale, come ad esempio le calcolatrici elettroniche.

Il vantaggio principale che il diodo a cristallo offre nei confronti del tipo a valvola, oltre a quelli relativi all'accensione ed alle dimensioni, precedentemente citati, consiste nel fatto che esso sopporta tensioni abbastanza elevate, e consente la rettificazione anche di tensioni talmente deboli da non riuscire a determinare una corrente anodica apprezzabile in un diodo a valvola, nemmeno durante i picchi positivi della tensione alternata da rettificare.

La **figura 12** illustra il confronto tra la curva caratteristica di un diodo a valvola, e quella di un diodo a cristallo. Dal confronto diretto, risultano evidenti alcune differenze che sono di importanza notevole agli effetti di determinate applicazioni.

Come sappiamo, in un diodo a valvola, la corrente anodica aumenta progressivamente con l'aumentare della tensione positiva applicata tra anodo e catodo attraverso il carico, secondo un rapporto pressochè lineare, almeno per un lungo tratto della curva.

Nel diodo a cristallo — invece — raddoppiando, ad esempio, l'ampiezza della tensione applicata, si ha un aumento della corrente pari a più del doppio del valore iniziale. Ciò significa che la conduttività del diodo, nei confronti di una polarizzazione diretta, varia secondo una legge esponenziale, e non lineare.

Un'altra differenza di notevole importanza, della quale è indispensabile tener conto in determinate applicazioni, è la seguente: allorchè la placca di un diodo a valvola viene polarizzata con un potenziale negativo rispetto al catodo, detta placca respinge completamente gli elettroni emessi dal catodo. Ciò significa, in altri termini, che nel diodo a valvola la corrente inversa è zero, ossia non esiste. Per contro, nel diodo a cristallo, nonostante la caratteristica di cattiva conduttività nei confronti della tensione inversa, la corrente da essa provocata non è mai pari a zero.

Infatti, per quanto elevata sia la resistenza offerta al passaggio di una corrente, e per quanto ridotta sia l'ampiezza della tensione che la provoca, quando il circuito è chiuso attraverso un diodo a cristallo collegato nel senso sfavorevole al passaggio della corrente, questa non è mai di intensità pari a zero.

Ovviamente, il valore della corrente inversa è tale da poter essere considerato, nella maggior parte dei casi, assolutamente trascurabile.

Proseguendo nel confronto tra il diodo a cristallo ed il diodo a valvola, citiamo un'altra differenza degna di nota: le caratteristiche di funzionamento del primo, sia esso a giunzione o a punta di contatto, sono strettamente legate alla temperatura di funzionamento, cosa che non accade invece col diodo a valvola. E' questo un particolare di notevole importanza, specie nei casi in cui, in alcune applicazioni, esistono due o più diodi il cui funzionamento è interdipendente, in quanto i circuiti funzionano in modo simmetrico rispetto a determinati punti e a determinate tensioni di segnale.

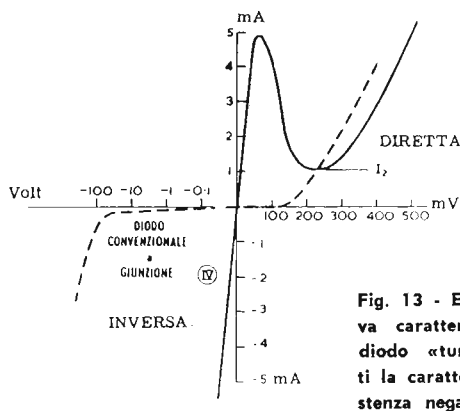



Fig. 13 - Esempio di curva caratteristica di un diodo «tunnel». Si noti la caratteristica di resistenza negativa (gomito).

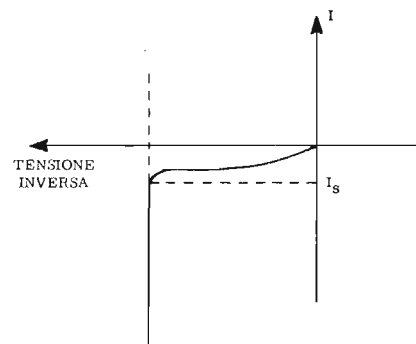



Fig. 14 - Esempio di curva caratteristica di un diodo «Zener». Oltre un certo limite della tensione inversa, la corrente inversa aumenta bruscamente per poi rimanere costante.

Impiego come rettificatore

Nel caso in cui un diodo a cristallo venga impiegato per la rettificazione di una corrente alternata — negli strumenti di misura o nei circuiti di alimentazione a bassa tensione — l'ammontare della corrente inversa che si manifesta durante le alternanze negative della tensione da rettificare non è mai tale — ripetiamo — da compromettere seriamente il funzionamento. Ciò ne consente l'impiego sia nei comuni circuiti di rettificazione, sia in sostituzione dei diodi a gas o nei dispositivi di duplicazione di tensione o di frequenza.

Un caso in cui l'impiego del diodo a cristallo come rettificatore è impossibile, e quello della rettificazione di tensioni elevate; ciò a causa della tensione inversa che, mentre nella comune valvola termoionica è limitata dalle caratteristiche di isolamento tra i due elettrodi, isolamento che peraltro è sempre assai elevato, nel diodo a cristallo è notevolmente più ridotta, ed inoltre varia col variare della temperatura di funzionamento.

A tale proposito, i vari costruttori di rettificatori al germanio o al silicio denunciano sempre, unitamente alle altre caratteristiche, la massima tensione inversa che ogni tipo è in grado di sopportare. Tale valore corrisponde — ovviamente — alla massima ampiezza della tensione alternata che può essere applicata all'ingresso del circuito di rettificazione.

Impiego come rivelatore

A pagina 66 abbiamo pubblicato a suo tempo la Tabella 20, relativa a diversi tipi di diodi adatti all'impiego come rivelatori di tensioni ad Alta Frequenza. Come si nota osservando detta tabella, essi si dividono in due categorie principali: diodi per impieghi generali, che possono essere impiegati sia come rettificatori di corrente alternata (ad esempio, negli strumenti di misura), sia come rivelatori di onde ad Alta Frequenza, fino ad un certo limite (ad esempio, nei radio ricevitori funzionanti esclusivamente sulla gamma delle Onde Medie). I diodi per frequenze elevate sono invece adatti alla rivelazione di segnali a Onde Corte: ciò ne consente l'impiego — ad esempio — per la realizzazione di un discriminatore o di un rivelatore a rapporto, nei quali casi — come abbiamo visto recentemente — la frequenza dei segnali da rivelare è dell'ordine di 10 MHz. Ovviamente, a tale scopo, sono adatti solo quei tipi in cui l'effetto della resistenza inversa — ossia della resistenza offerta al passaggio della corrente inversa — non viene neutralizzato dalla presenza di una capacità interelettrodica tale da consentire egualmente il passaggio del segnale.

DIODI SPECIALI

Diodo « Zener ». Una interessante particolarità è costituita dal diodo cosiddetto « Zener », nel quale la tensione inversa, aumentata progressivamente, dà una curva di corrente inversa analoga a quella di un diodo normale, fino ad un certo valore. Oltre tale valore, si ha un aumento della corrente inversa talmente rapido, che essa raggiunge il valore massimo per una minima variazione di tensione. Il fenomeno è illustrato nella curva di **figura 13**. Per questo motivo tali diodi vengono impiegati per la stabilizzazione di tensioni relativamente basse.

Diodo « tunnel ». Anche in questo tipo di diodo si ha un interessante fenomeno. La corrente diretta (con polarizzazione nel senso favorevole), aumenta regolarmente con l'aumentare della tensione applicata, come negli altri diodi a cristallo, fino però ad un determinato valore di tensione. In corrispondenza di tale valore, lo aumento della tensione corrisponde ad una diminuzione della corrente di conduzione. Si ha in tal caso una resistenza negativa, come illustrato alla **figura 14.** Oltre tale punto la curva riprende un andamento regolare. Data la rapidità del passaggio da un punto all'altro della caratteristica di lavoro, questo diodo si presta allo impiego nella tecnica delle microonde e degli impulsi, nei quali casi si hanno elevatissime frequenze di funzionamento.

Fotodiodo. Abbiamo detto all'inizio che le caratteristiche di conduzione da parte di una giunzione vengono alterate — oltre che da un campo elettrico — anche da parte della luce. Questo fenomeno, cui abbiamo già accennato a pagina 112 a proposito delle cellule fotoelettriche del tipo ad assorbimento, è stato sfruttato per la realizzazione di fotodiodi. Essi presentano la caratteristica di variare notevolmente la propria resistenza col variare dell'intensità della luce che colpisce la giunzione. Vedremo a suo tempo alcune applicazioni di questo dispositivo.

I TRANSISTORI

Il **transistore** è un dispositivo relativamente nuovo, basato sulle proprietà — ormai note al lettore — di alcuni semiconduttori. Esso può essere impiegato per realizzare buona parte delle applicazioni che erano prima possibili con le sole valvole termoioniche: può infatti essere usato nei circuiti elettronici per amplificare, per produrre oscillazioni o impulsi, e per altri scopi.

Il termine « transistore » è derivato dalla combinazione delle due parole « *transfer* » (in inglese trasferimento)e « *resistor* » ossia resistenza, e significa *resistenza di trasferimento*.

Il transistore è molto più piccolo, più leggero e nominalmente più duraturo di qualsiasi valvola, ed inoltre è infinitamente più efficiente e potenzialmente meno costoso di quest'ultima. Questa caratteristica è dovuta al fatto che il suo funzionamento implica l'impiego di una quantità minima di energia elettrica, soprattutto per il fatto che il transistore non ne disperde in calore, o almeno, non tanto quanto ne disperde la valvola. Infatti — come è noto — non si ha un filamento incandescente. L'impiego nelle apparecchiature richiede inoltre una minima disponibilità di spazio.

Queste importanti qualità lo hanno reso, e lo renderanno, sempre più utile nella costruzione di apparecchiature elettroniche fisse e portatili, specie per il fatto che esso aggiunge ai suoi vantaggi citati quello di un inizio istantaneo del funzionamento, in quanto non è necessario attendere il riscaldamento del catodo; non si ha perciò alcuna dissipazione a vuoto di energia.

Lo studio delle varie applicazioni dei transistori deve essere necessariamente molto graduale, in quanto i circuiti che li impiegano, pur essendo basati sui principi fondamentali dell'elettronica, hanna delle caratteristiche che li differenziano notevolmente dai circuiti equivalenti a valvole.

Alcune delle apparecchiature in cui i transistori vengono già da qualche tempo ampiamente utilizzati sono gli apparecchi acustici per deboli di udito, i riproduttori portatili di dischi, gli apparecchi radio tascabili o comunque di piccole dimensioni, i megafoni elettronici, alcuni tipi di stabilizzatori di tensione, nonchè alcuni strumenti di misura.

Essi vengono inoltre utilizzati in apparecchiature a carattere scientifico e militare, come ad esempio i missili teleguidati, gli apparecchi radar, ed alcune speciali apparecchiature per telecomunicazioni a breve portata. Recentemente, i transistori sono stati adottati anche nei ricevitori televisivi, con notevoli vantaggi. Riassumendo, il loro impiego è particolarmente vantaggioso in tutti i casi in cui le minime dimensioni, la leggerezza ed il minimo consumo di energia di alimentazione sono caratteristiche della massima importanza.

TRANSISTORI a GIUNZIONE

Quanto segue costituisce un complesso di informazioni relative ai diversi tipi di transistori. Uno di essi — il tipo a giunzione — è quello di impiego più comune. Dal momento che la teoria relativa al suo funzionamento è analoga a quella relativa al funzionamento degli altri tipi, possiamo trattare solo di essa.

Ricordando tutto ciò che è stato detto relativamente alla giunzione del tipo *p-n*, è facile constatare che, come illustrato nella **figura 1**, le caratteristiche enunciate sono analoghe a quelle del diodo a giunzione. Esso è costituito essenzialmente da due giunzioni, ed è costruito mediante l'impiego di tre strati di materiale semiconduttore. Si tratta in sostanza di tre strati sovrapposti, nei quali quello centrale può essere del tipo *n* o *p*, mentre quelli laterali sono entrambi del tipo opposto a quest'ultimo. Se lo strato centrale è del tipo *p*, quelli esterni sono del tipo *n*, per cui si avrà un transistore a giunzione del tipo *n-p-n*, analogo a quello illustrato nella figura 1. Viceversa, se lo strato centrale è del tipo *n*. quelli laterali sono del tipo *p*; in tal caso si un transistore del tipo *p-n-p*.

Nei transitori, si applicano in genere dei terminali a bassa resistenza collegati agli strati esterni che agiscono uno da **emettitore** e l'altro da **collettore**. Un terzo terminale viene applicato allo strato centrale, che costituisce la **base**. Un involucro a chiusura ermetica, assicura una certa robustezza ed un buon isolamento nei confronti dell'atmosfera circostante.

La **figura 2** illustra schematicamente un esemplare di transistore. Come si nota, i collegamenti agli elettrodi vengono alloggiati in un materiale isolante, dal quale sporgono come specie di spilli; ciò ne permette, se necessario, l'inserimento in uno zoccolo, analogomente a quento avviene con le valvole termoioniche.

Allorché l'elettrodo emettitore di un transistore viene polarizzato mediante un potenziale a c.c., al fine di creare un passaggio di corrente, esso *emette* in effetti dei vettori di corrente che si dirigono verso la regione costituente la base. Per questo motivo viene appunto chiamato emettitore. Se il collettore è polarizzato a sua volta in modo da permettere il passaggio di una corren-

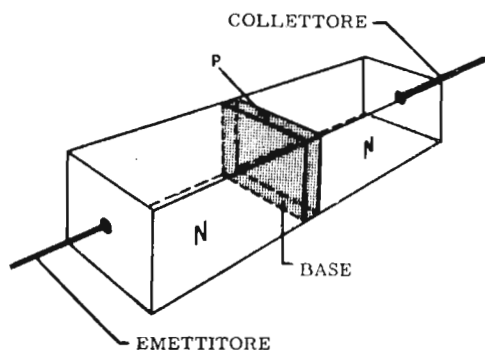



Fig. 1 - Un transistore a giunzione consta essenzialmente di due diodi a giunzione, aventi una regione « n » o « p » in comune.

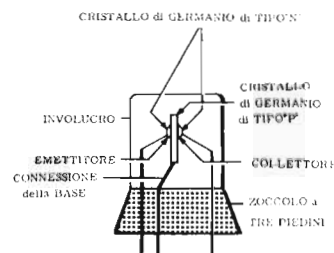



Fig. 2 - Struttura interna di un transistore a giunzione: sono visibili il cristallo, le regioni laterali, ed i contatti interni ed esterni.

te inversa, esso *raccoglie* praticamente tali vettori di corrente: è evidente che i nomi di questi due elettrodi hanno ragione d'essere grazie alle rispettive funzioni.

Nel caso in cui l'emettitore sia costituito da materiale del tipo *n*, i vettori sono costituiti da elettroni; viceversa, se è costituito da materiale del tipo *p*, essi sono delle cavità.

Dal momento che il transistore può essere considerato come costituito da **due** giunzioni, la coppia emettitore-base, e quella base-collettore, possono essere considerate rispettivamente due giunzioni del tipo *p-n*.

La **figura 3** illustra il principio di collegamento dei due tipi di transistori. Ognuno di essi è rappresentato schematicamente nel modo convenzionale già noto al lettore. La base è rappresentata da un tratto orizzontale, (che può essere — come abbiamo visto — anche verticale, a seconda delle esigenze del disegno), mentre l'emettitore ed il collettore sono rappresentati da due tratti inclinati rispetto alla base stessa. Per distinguere reciprocamente questi ultimi, il simbolo dell'emettitore è contraddistinto da una freccia. Nel caso in cui questa sia in direzione della base, il transistore è del tipo *p-n-p*, mentre se indica che la corrente esce dalla base, esso è del tipo *n-p-n*.

E' importante notare che **detta freccia indica la direzione della corrente positiva** che si ha quando la polarizzazione è nel senso diretto, ossia favorevole. Tale corrente scorre in senso opposto a quello degli elettroni. E' questo un particolare che richiede la massima attenzione, in quanto in molti testi, si osserva che la direzione indicata è opposta a quella a noi ben nota.

Vi è una certa tendenza ad usare i medesimi simboli per entrambi i tipi. Per questo motivo, se si presenta qualche dubbio circa il tipo di transistore rappresentato nello schema, è opportuno controllare accuratamente il numero che lo contraddistingue prima di effettuare una eventuale sostituzione.

Nella sezione **A** della figura 3 la giunzione *p-n*, costituita dall'emettitore e dalla base, è polarizzata nel senso favorevole (ossia nella direzione a bassa resistenza). L'altra giunzione *p-n*, costituita a sua volta dalla base e dal collettore, è invece polarizzata in senso inverso, (ossia nel senso ad alta resistenza). In altre parole, nel transistore del tipo *n-p-n*, l'emettitore ha un potenziale negativo rispetto alla base, mentre il collettore ha un potenziale positivo.

Nel circuito della sezione **B** della figura, nella quale è illustrato un transistore del tipo *p-n-p*, i potenziali reciproci sono invertiti: inoltre — nella sezione A — la corrente, costituita essenzialmente da elettroni, scorre sopratutto dall'emettitore al collettore. Gli elettroni, infatti, dopo aver abbandonato l'emettitore, attraversano il materiale positivo costituente la base. Dal momento che detta base è costituita da uno strato molto sottile, la maggior parte degli elettroni potrà continuare a muoversi alla volta del collettore — il cui potenziale è positivo — grazie all'intenso campo elettrico che esiste nella giunzione del collettore stesso. La corrente di base è molto debole, in quanto consta soltanto di quei pochi elettroni che si combinano con le cavità della base stessa. Le correnti dell'emettitore e del collettore sono perciò pressochè eguali.

E' bene notare che la corrente del collettore varia col variare della corrente dell'emettitore, maggiormente che non col variare della tensione propria del collettore medesimo. Variando l'intensità della corrente che scorre nel circuito dell'emettitore, è possibile variare anche la corrente del collettore. In pratica, questa variazione della corrente di emettitore viene prodotta mediante l'aggiunta di un segnale a corrente alternata di piccola entità, in serie alla corrente continua di polarizzazione. Nel circuito illustrato dalla figura 3, se la tensione dell'emettitore viene ridotta a zero, si avrà — attraverso l'alta resistenza della giunzione del collettore — il passaggio di una corrente debolissima (detta corrente di saturazione inversa, o di taglio). Questa corrente viene definita appunto corrente di taglio del collettore, ed è rappresentata dal simbolo I_{CO}.

I PARAMETRI dei TRANSISTORI

Dal momento che il circuito base-emettitore illustrato nella figura 3A è polarizzato in senso favorevole, esso costituisce un circuito a bassa impedenza. Viceversa, il circuito del collettore (o di uscita) è ad alta impedenza essendo polarizzato in senso inverso. Il guadagno (amplificazione) ottenibile mediante un transistore, che permette cioè di utilizzarlo come stadio amplificatore, è dovuto proprio a tale differenza tra le impedenze di entrata e di uscita. Sebbene la corrente dell'emettitore e del collettore siano approssimativamente eguali, è possibile — come vedremo meglio —

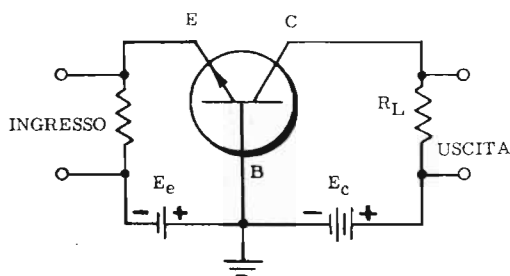



Fig. 3A - Principio di utilizzazione di un transistore del tipo «n-p-n». La base è positiva rispetto all'emettitore, ma negativa rispetto al collettore. Il circuito è del tipo con la base connessa a massa.

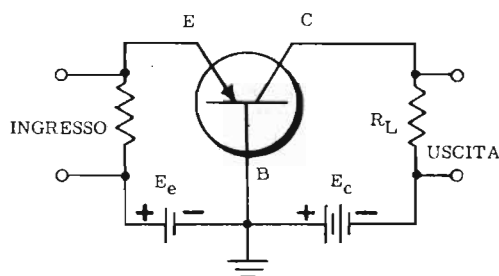



Fig. 3-B - Circuito analogo a quello di figura 3-A, ma riferito ad un transistore del tipo « p-n-p ». Come si nota, la polarità delle due sorgenti di tensione è stata invertita.

ottenere un'amplificazione di potenza apprezzabile..

Nel transistore a giunzione, del tipo *p-n-p*, illustrato nella figura 3B, le polarità della tensione di alimentazione sono invertite, per cui la corrente è costituita più da spostamento di cavità che da spostamento di elettroni. A prescindere da ciò, il funzionamento dei due tipi è del tutto analogo, in quanto le impedenze di entrata e di uscita sono in entrambi i tipi rispettivamente bassa e alta.

Come abbiamo detto, la corrente dell'emettitore è praticamente indipendente dalla tensione del collettore. Ad esempio, in un tipico circuito nel quale il transistore sia utilizzato con base connessa a massa, una eventuale variazione di ben 40 volt della tensione del collettore, provoca una variazione della corrente dell'emettitore pari soltanto al 30% circa del suo valore iniziale.

E' inoltre utile notare che, dal momento che una sia pur piccola tensione dell'emettitore provoca in esso una notevole corrente, il relativo circuito si comporta come una resistenza di basso valore rispetto ai piccoli segnali di ingresso. Ne consegue che la resistenza d'ingresso di un transistore è di valore molto basso.

Le curve caratteristiche illustrate nella **figura 4** sono curve statiche di tensione e di corrente relative ad un transistore a giunzione del tipo *n-p-n*, utilizzato in un circuito con la base connessa a massa, come in figura 3. Esse sono simili a quelle di una valvola termoionica, e possono chiarire li funzionamento del transistore stesso. Infatti, sovrapponendo a tali curve la rappresentazione grafica del comportamento del carico come è visibile nella figura, è possibile determinare le esatte condizioni di funzionameno del circuito in questione. Tali curve illustrano la tensione del collettore (v_c) e la corrente del collettore (i_c) espresse in funzione delle varie correnti fisse dell'emettitore (i_e).

Da un attento esame della figura, si può notare che la corrente del collettore è praticamente indipendente dalla tensione del collettore, purchè detta tensione sia sufficiente per attirare tutti i vettori di corrente che raggiungono la relativa giunzione.

Nel transistore del tipo a giunzione, se tutti i vettori di corrente emessi dall'emettitore raggiungessero il collettore, le correnti di entrambi tali elettrodi sarebbero eguali. In tali condizioni, l'amplificazione di corrente tra emettitore e collettore corrisponderebbe all'unità.

Il guadagno di corrente di un transistore è rappresentato dal simbolo α (lettera greca « alfa ») e corrisponde al noto fattore μ delle valvole termoioniche.

Per α si intende il rapporto tra una variazione della corrente del collettore ed una variazione specifica della corrente dell'emettitore, mentre il potenziale del collettore è mantenuto ad un valore costante.

Nel transistore a giunzione del tipo *n-p-n*, alcuni tra gli elettroni emessi si combinano con le cavità presenti nella base, e vengono convogliati verso il terminale corrispondente. Analogamente, nel tipo *p-n-p*. alcune cavità si combinano con gli elettroni che abbondano nella base e vengono convogliate verso il terminale corrispondente. Ne consegue che un eventuale aumento della corrente dell'emettitore sarà leggermente superiore all'aumento corrispondente alla corrente del collettore. A causa di ciò, il coefficiente nel transistore a giunzione è sempre inferiore a 1. In pratica, i valori di α sono compresi tra 0,90 e 0,99.

Riferendoci alla sezione A della figura 3, notiamo che, allorchè si sovrappone un segnale di piccola ampiezza alla polarizzazione dell'emettitore, si produce una notevole variazione nella corrente dell'emettitore, dovuta alla bassa resistenza del circuito relativo. Tale variazione corrisponde ad una variazione pressochè eguale nella corrente del collettore, la quale, passando attraverso la resistenza di carico R_L, determina la presenza del segnale di uscita ai capi di detta resistenza. Il segnale così sviluppatosi è di ampiezza molto maggiore di quella del segnale di ingresso.

Il fenomeno dell'amplificazione è quindi possibile in quanto un sia pur piccolo segnale di ingresso può determinare indirettamente variazioni di corrente nel circuito di uscita ad alta resistenza, approssimativamente eguali a quelle che si verificano direttamente nel circuito di ingresso, che è invece a bassa resistenza.

CONFRONTI con le VALVOLE TERMOIONICHE

Nei circuiti a transistori descritti fino ad ora, il terminale di base è sempre stato considerato in comune ai due circuiti di ingresso e di uscita. Questo tipo di collegamento è noto col nome di **«base comune»** o anche di **«base a massa»**. Esistono però altri due sistemi di collegamento, nei quali si considera come elettrodo comune l'emettitore o il collettore; tali sistemi sono noti rispettivamente con le espressioni di **« emettitore co-**

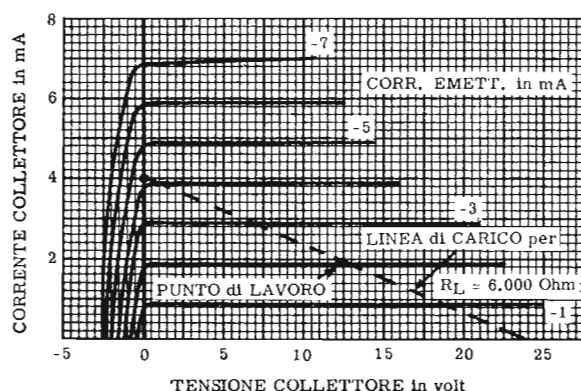



Fig. 4 - Curve caratteristiche, (famiglia di curve), di un transistore, illustranti le relazioni statiche tra tensione e corrente, in un circuito con base a massa, come riportato in figura 3. Nel caso illustrato, con una corrente di emettitore di 2 mA, si ha una tensione di collettore di 12,5 volt, ed una corrente di collettore pari a 1,9 mA. La retta di carico è riferita al valore di 6.000 ohm.

mune» o **«emettitore a massa»** e **«collettore comune»** o **«collettore a massa»**.

La **figura 5** illustra i tre tipi di circuiti, unitamente ai circuiti equivalenti realizzati con un comune triodo.

L'amplificatore a transistore con base a massa, (sezione **A**), presenta una impedenza di ingresso relativamente bassa (circa 50 ohm) ed un'altra impedenza di uscita (circa 100.000 ohm), ed inoltre non determina alcun cambiamento di polarità (fase) tra i segnali di entrata e di uscita. Sotto questo punto di vista, esso assomiglia all'amplificatore a valvola con griglia a massa; in ogni caso, l'emettitore corrisponde sempre al catodo, la base alla griglia ed il collettore alla placca.

Il funzionamento del circuito con emettitore a massa (**B**) presenta un'impedenza di ingresso relativamente alta (circa 1000 ohm), un'alta impedenza di uscita (circa 30.000 ohm), consente un'alta amplificazione, ed i segnali di ingresso e di uscita sono invertiti reciprocamente di polarità, ossia sono sfasati di 180°.

Infine, come illustrato nella sezione **C**, il sistema di collegamento con collettore a massa corrisponde al funzionamento della valvola come «cathode-follower» (accoppiamento catodico): ha un'alta impedenza di ingresso (circa 30.000 ohm), una bassa impedenza di uscita (circa 600 ohm), e non inverte la fase del segnale.

Il circuito con emettitore a massa è l'unico che presenti uno sfasamento tra i segnali di entrata e di uscita.

Le esigenze del funzionamento determinano quale sia il tipo di circuito più adatto: ciò costituirà in parte l'argomento che verrà trattato diffusamente a proposito dei circuiti a transistori. Nel confronto tra i transistori e le valvole, la maggior differenza consiste probabilmente nel fatto che non esiste una netta separazione tra il circuito di entrata e quello di uscita. Tale separazione è invece — come sappiamo — ben evidente nei circuiti a valvola.

L'esistenza dei due tipi di transistori, e precisamente dei tipi *n-p-n* e *p-n-p*, rende possibile una notevole varietà di applicazioni. Tale situazione è paragonabile a quella che si potrebbe avere se esistessero delle valvole funzionanti con un potenziale negativo di placca e con elettroni positivi, oltre a quelle realmente esistenti.

Si noti che nella figura 5 i transistori sono tutti del tipo *n-p-n*, in quanto presentano una maggiore analogia con le valvole. Il collettore (paragonabile alla placca) ha infatti un potenziale positivo. Essi potrebbero però essere anche del tipo *p-n-p*: in tal caso la freccia presente sull'emettitore sarebbe rivolta in senso opposto, e le polarità delle tensioni di alimentazione sarebbero invertite; nessuna variante verrebbe invece apportata al circuito.

TRANSISTORI a PUNTA di CONTATTO

Un altro tipo di transistore il cui funzionamento è analogo a quello del tipo a giunzione è quello a punta di contatto. Sebbene il funzionamento sia simile in entrambi sotto molti aspetti, il transistore a punta di contatto ha, tuttavia, alcune caratteristiche differenti.

E' bene sapere — innanzitutto — che il transistore a punta di contatto fu scoperto per primo; tuttavia la produzione attuale comprende per la maggior parte tipi a giunzione, dato che essi si prestano meglio alla produzione normalizzata di serie.

La **figura 6** illustra un transistore a punta di contatto, nel quale, come si vede, gli elettrodi sono costituiti da piccoli terminali con una punta che appoggia direttamente sul cristallo: tali punte, che sono ad una minima distanza tra loro, sono in contatto col materiale costituente la base. Questa può essere tanto del tipo *p* quanto del tipo *n*. Come abbiamo visto a proposito del diodo a punta di contatto, se la base è costituita da germanio del tipo *n*, si presume che in corrispondenza delle zone di contatto degli elettrodi si formino due piccole zone del tipo *p*, (vedi sezione **A** della figura 7). Viceversa, se la base è costituita da germanio del tipo *p*, dette zone sono del tipo *n*, (vedi sezione **B**). Si suppone che tali ragioni si producano a causa della corrente che passa attraverso il cristallo durante il processo di fabbricazione.

Osservando nuovamente la figura 7-A, notiamo che le punte di contatto dell'emettitore e del collettore convergono su materiale del tipo *p*. Questo tipo di transistore è quindi analogo al tipo a giunzione *p-n-p*; la medesima analogia può essere stabilita in riferimento alla sezione **B** nei confronti dei tipi *n-p-n*.

Il transitore a punta di contatto funziona come il tipo a giunzione, in quanto i portatori o vettori vengono iniettati nella base ad opera dell'emettitore polarizzato, e vengono poi raccolti dal collettore. Una delle maggiori differenze tra i due tipi di transistori risiede nel fatto che nel tipo a punta di contatto una data va-

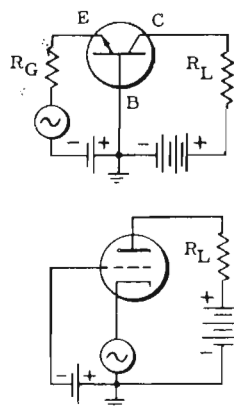



Fig. 5-A - Confronto tra un transitore usato con base a massa ed un triodo con griglia a massa.

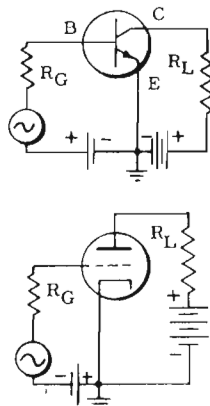



Fig. 5-B - Confronto tra un transistore usato con emettitore a massa, ed un triodo con catodo a massa.

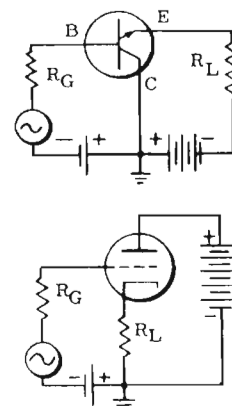



Fig. 5-C - Confronto tra un transistore usato con collettore a massa, ed un triodo con placca a massa (attraverso la sorgente di tensione anodica).

riazione della corrente dell'emettitore provoca una variazione maggiore nella corrente del collettore: il guadagno di corrente (alfa) può in tal caso essere maggiore di uno, e, normalmente, si aggira intorno al valore di 2,5. Dal momento che in questo tipo di transistore, il coefficiente è maggiore dell'unità, è possibile realizzare circuiti che presentino la nota *resistenza negativa*. Ciò può essere di aiuto nei circuiti degli oscillatori, ma può anche essere fonte di complicazioni nei circuiti degli stadi di amplificazione.

La **figura** 8 illustra le curve caratteristiche di un transistore a punta di contatto; da esse è possibile dedurre i valori di tensione e di corrente del collettore, corrispondenti a vari valori costanti della corrente dell'emettitore. Inoltre, confrontando queste curve con quelle illustrate alla figura 4, relative ad un transistore a giunzione, si può notare che l'inclinazione è più pronunciata, ossia che le caratteristiche sono alquanto differenti. Nel tipo a punta di contatto, la corrente di collettore subisce un notevole aumento, per ogni aumento del potenziale relativo.

Un altro vantaggio del transistore a punta di contatto nei confronti del tipo a giunzione, risiede nel fatto che, in linea di massima, esso può funzionare con frequenze più elevate. Ciò in quanto la capacità del collettore, C_c, è minore, grazie alla minor superficie di tale elettrodo. Inoltre, essendo la resistenza di base (r_b) di valore inferiore, il limite massimo di α ($f\alpha_{co}$) è maggiore. In merito al fattore cui abbiamo accennato or ora, daremo tra breve maggiori dettagli.

CARATTERISTICA di FREQUENZA

Uno dei fattori limitanti nell'impiego dei transistori consisteva, fino a non molto tempo fa, nella limitatazione del campo delle frequenze con le quali essi potevano funzionare. Alcuni tra gli ultimi tipi hanno tuttavia caratteristiche tali da permetterne l'impiego nel campo delle radiocomunicazioni anche ad onde corte, e perfino nella televisione. Come per le comuni valvole, tale limitazione è dovuta essenzialmente alla capacità interelettrodica, ed al tempo di transito.

In condizioni di polarizzazione favorevole, la capacità della giunzione dell'emettitore può essere notevole; tuttavia, essa può essere trascurata in quanto è, per così dire, « shuntata » dalla bassa resistenza interna. Nel caso contrario, sebbene il collettore sia polarizzato in maniera inversa e determini una capacità del collettore relativamente bassa, (C_c), (variabile da 10 a 20 pF), quest'ultima non può essere ignorata a causa della alta impedenza del circuito del collettore. Detta capacità, infatti, sommata a quella dovuta ai diversi componenti, si trova in parallelo all'impedenza di carico. L'impedenza di questo circuito in derivazione diminuisce con l'aumentare della frequenza; di conseguenza, la variazione di corrente attraverso il carico stesso, (e quindi la potenza d'uscita), diminuisce in maniera inversamente proporzionale alla frequenza.

Come abbiamo già accennato, un'altra causa della limitazione di frequenza risiede nel tempo di transito, al quale si associa la reciproca influenza tra le correnti di emettitore e di collettore. A questo proposito, è opportuno ricordare che la velocità degli elettroni corrisponde a quella della luce, non in quanto essi si muovono con pari velocità, (come spesso si fraintende), bensì in quanto il campo elettrico *E*, allorchè viene prodotto, si sposta con la velocità della luce, ed esercita una forza corrispondente sugli elettroni del materiale.

La corrente di cavità, tuttavia, dipende dal movimento degli elettroni attraverso i legami di valenza, e si sposta con velocità molto inferiore; contribuisce quindi notevolmente alla limitazione di frequenza.

Alle frequenze più elevate, gran parte dei portatori, siano essi elettroni o cavità, iniettati nella base, non fanno in tempo a raggiungere la giunzione del collettore prima che il segnale di ingresso (che si intende a corrente alternata) abbia invertito la sua polarità. Ciò accade in quanto il tempo di transito occupa una parte considerevole del tempo durante il quale si svolge un ciclo completo. Di conseguenza, tutti i portatori che fanno in tempo a raggiungere il collettore, restano — per così dire — prigionieri nel materiale costituente la base. Questo fenomeno determina una diminuzione del guadagno di corrente (alfa); da ciò si deduce facilmente che — nel funzionamento con frequenze elevate — detto coefficiente diminuisce con l'aumentare della frequenza.

Come abbiamo stabilito precedentemente, per *alfa* si intende il rapporto tra una variazione della corrente del collettore ed una variazione specifica della corrente dell'emettitore, tenendo costante la tensione del collettore stesso. Tale definizione è relativa all'amplificazio-

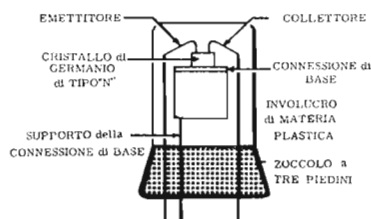



Fig. 6 - Struttura interna di un transistore a punta di contatto. Come si nota, il cristallo è di un unico tipo («n» o «p»).

EMETTITORE COLLETTORE

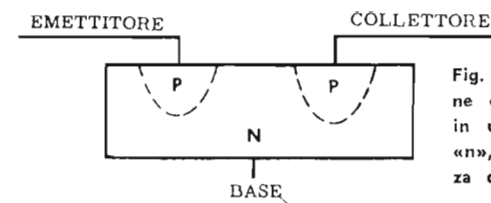
P P N

BASE

Fig. 7A - Formazione delle regioni «p» in una base di tipo «n», in corrispondenza delle punte.

EMETTITORE COLLETTORE

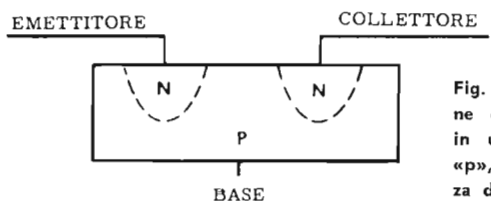
N N P

BASE

Fig. 7B - Formazione delle regioni «n» in una base di tipo «p», in corrispondenza delle punte.

ne di corrente da parte dei transistori funzionanti con frequenze basse (prendendo per riferimento una frequenza di 1000 Hz). Normalmente, la frequenza di taglio del fattore *alfa* ($f_{\alpha co}$) è la frequenza alla quale detto fattore scende al 70,7% del suo valore corrispondente alla frequenza di riferimento citata.

L'influenza del tempo di transito determina anche uno spostamento di fase che, alla frequenza di taglio *alfa*, si approssima ai 60°. Come avviene nelle valvole, tale sfasamento è indesiderabile in quanto riduce il rendimento dell'intero circuito.

Sono stati recentemente realizzati due tipi di transistori che possono parzialmente ovviare agli inconvenienti dovuti alla capacità interelettrodica ed all'elevato valore del tempo di transito: si tratta precisamendei **tetrodi**, e dei transistori *p-n-i-p* (oppure *n-i-p-n*). La ragione principale di tali tipi è appunto il tentativo di ottenere caratteristiche maggiormente adeguate al funzionamento con frequenze più alte.

Come è stato illustrato in merito ai transistori a punta di contatto, è possibile ridurre la capacità del collettore (C_c) riducendo la superficie della giunzione. Tale riduzione è impossibile oltre un certo limite nei tipi a giunzione. La capacità del collettore può inoltre essere ridotta riducendo la conduttività del materiale costituente la base. Tuttavia, ciò comporterebbe un aumento della resistenza di base (r_b), il quale aumento, a sua volta, ridurrebbe il limite della frequenza critica ($f_{\alpha co}$).

La **figura 9** illustra un tetrodo a giunzione. Esso assomiglia al transistore normale precedentemente descritto, ad eccezione del fatto che la base è provvista di un secondo collegamento posto in direzione opposta a quella dell'elettrodo normale. Applicando a tale collegamento un potenziale che si oppone alla corrente normale, i portatori di corrente tra l'emettitore ed il collettore, che passano attraverso la base, vengono compressi in una piccola zona di quest'ultima in prossimità del normale collegamento di base. Ciò riduce — in pratica — la superficie della sezione trasversale. In altre parole, si può così ottenere elettricamente ciò che non è possibile ottenere meccanicamente.

Il maggior vantaggio del tetrodo consiste nel fatto che il limite di frequenza ($f_{\alpha co}$) viene notevolmente esteso. Ciò accade in quanto la superficie della giunzione di base risulta ridotta, col vantaggio di una minore capacità interelettrodica; inoltre, essendo possibile ridurre lo spessore del materiale della base, ciò riduce per riflesso il tempo di transito.

La **figura 10** illustra un transistore a giunzione del tipo *n-p-i-n*. Esso differisce dal tipo *n-p-n* in quanto esiste uno strato *intrinseco* che separa la base dal collettore. Il germanio intrinseco, detto di tipo *i*, può essere costituito tanto da germanio allo stato di massima purezza, quanto da germanio contenente un egual numero di atomi *donatori* e *ricettori*. La sua presenza permette una notevole riduzione sia della capacità del collettore che dalla resistenza di base, col risultato di un corrispondente aumento della frequenza di taglio. Sebbene si verifichi una forte caduta di tensione alle estremità dello strato intrinseco, tale caduta può essere compensata mediante un aumento della tensione del collettore.

POTENZA e DISSIPAZIONE

Come abbiamo stabilito a proposito delle caratteristiche del germanio, l'agitazione termica alla normale temperatura ambiente fa sì che alcuni elettroni acquistino energia sufficiente per rompere i legami di co-valenza, e per diventare « elettroni liberi ». Con certe temperature critiche, che si aggirano attorno ai 95° C, nella maggior parte dei casi il numero di tali elettroni diventa eccessivo. Gli elettroni liberati determinano in tal caso un aumento della conduttività, perfino nel germanio puro, talmente rapido, che il germanio stesso acquista un elevato coefficiente negativo di temperatura riferito alla resistività: in altre parole, la resistenza diminuisce con l'aumentare della temperatura.

Alla temperatura critica, l'effetto termico supera quello della conduttività dovuta alle impurità sia del tipo *n* che del tipo *p*, per cui il funzionamento del transistore viene neutralizzato. Se poi la temperatura continua ad aumentare, si raggiunge un punto in cui avviene la diffusione delle impurità stesse. Ciò accade quando l'agitazione termica diventa talmente forte, che gli atomi di impurità vengono dislocati alla estremità opposta della giunzione. In tal caso il transistore si deteriora definitivamente.

La dissipazione di potenza nei transistori è importante in quanto il passaggio di corrente attraverso un transistore, come pure attraverso un semiconduttore o un conduttore qualsiasi, produce calore. La maggior parte

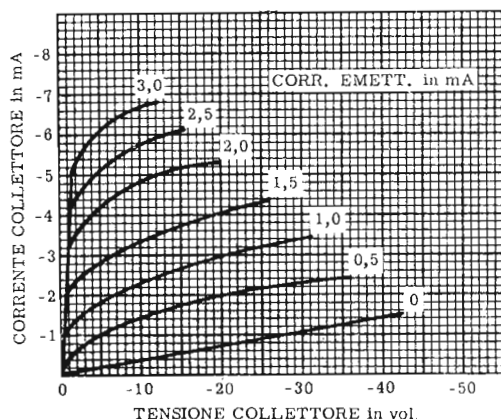



Fig. 8 - Curve caratteristiche di un transistore a punta di contatto. Come si nota osservandone l'andamento, il guadagno di corrente può essere maggiore che non nel tipo a giunzione.

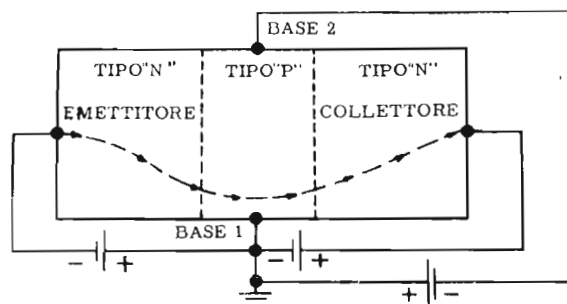



Fig. 9 - Rappresentazione schematica di un tetrodo a giunzione. La polarità della tensione applicata alla base 2 è tale da determinare lo spostamento del percorso della corrente in una parte limitata della base. Ciò riduce notevolmente la capacità interelettrodica.

della temperatura che si sviluppa viene dissipata nella giunzione del collettore. Le limitazioni di temperatura dei transistori variano da tipo a tipo; vengono citate dal fabbricante e non devono essere mai superate.

Sono stati prodotti diversi tipi di transistori per forti dissipazioni di potenza, ai quali sono stati applicati particolari dispositivi, proprio per disperdere l'aumento di temperatura che si produce in prossimità della giunzione del collettore. Uno dei metodi più comuni consiste nell'unire uno degli elettrodi all'involucro esterno. Nella maggior parte dei casi, detto involucro è in contatto meccanico con lo chassis, o direttamente, o attraverso uno strato isolante di mica, il quale evita — in tal caso — il corto circuito elettrico, pur permettendo il contatto meccanico (vedi **figura 11**). In questo modo lo chassis medesimo assorbe la temperatura e la disperde, consentendo la dissipazione di una potenza maggiore.

La temperatura ambiente ha una certa importanza agli effetti della potenza di uscita. E' facile comprendere che la dissipazione di calore da parte del transistore è tanto minore quanto più la temperatura ambiente è elevata. Ciò è vero in quanto — in tali condizioni — l'assorbimento di calore da parte dello chassis viene ridotto.

La maggior differenza tra i transistori e le valvole sussiste in rapporto alla amplificazione di potenza. Nell'amplificatore a transistori, ogni stadio contribuisce all'amplificazione di potenza; per contro, nell'amplificatore a valvole, l'amplificazione di potenza avviene unicamente ad opera dell'ultima valvola. D'altro canto, l'analogia tra i due tipi consiste nel fatto che, allorchè i transistori vengono usati come amplificatori di potenza, possono essere utilizzati sia come singolo stadio in classe *A*, sia in « push-pull » (o controfase) in classe *AB* o *B*.

La massima amplificazione di potenza ottenibile con un transistore ammonta a 40 dB; un tipico coefficiente di amplificazione è di 440 volte, (cioè 26 dB circa).

Il rumore interno dei transistori è causato dalle variazioni accidentali delle correnti che passano attraverso le giunzioni, come pure dalla suddivisione a caso della corrente dell'emettitore, che si verifica tra il circuito di base e quello del collettore. Il fattore rumore di un transistore a giunzione è inferiore a quello di un transistore a punta di contatto. Nei confronti delle valvole termoioniche, i transistori hanno un fattore di rumore più elevato. Esso può però essere ridotto riducendo la tensione del collettore. E' inoltre opportuno notare che detto rumore varia in maniera inversamente proporzionale alla frequenza.

TECNICA della MANUTENZIONE

La caratteristica più saliente delle apparecchiature a transistori è che esse, diversamente dalle analoghe apparecchiature a valvole, non necessitano di frequenti controlli e di manutenzione. Tuttavia, essendo di notevole compattezza, e dal momento che questa caratteristica tende sempre più ad acquistare maggiore importanza agli effetti della miniaturizzazione, la manutenzione — essendo pur necessaria — diventa maggiormente complessa.

Il saldatore da 100 watt e la pinza di tipo comune che si trovano spesso sui banchi di lavoro dei laboratori di elettronica sono certamente inadatti — per le loro stesse dimensioni — all'impiego nei circuiti a transistori. La maggior parte delle pinze, comprese le cosiddette pinzette a molla, hanno dimensioni eccessive per tale scopo. Anche le più piccole possono essere ulteriormente ridotte a dimensioni più adatte. La pinzetta a molla, cui ci siamo riferiti precedentemente, trova però, generalmente, il maggiore impiego.

I transistori sono, come si è visto, particolarmente vulnerabili dall'eventuale surriscaldamento; per questo motivo la saldatura dei terminali deve essere effettuata — come abbiamo già visto — con cure particolari. Come avviene per le valvole subminiatura, spesso essi vengono utilizzati con contatto diretto, senza cioè l'uso di zoccoli adattatori. A questo scopo è necessario disporre di un saldatore del tipo «a matita», con una punta lunga e sottile (vedi fig. 19 a pag, 14), oltre che delle speciali pinzette provviste di una massa per assorbire il calore. Queste pinzette, come illustrato nella **figura 12**, vengono applicate al terminale del transistore tra il punto dove si effettua la saldatura ed il transistore stesso. In questo caso, buona parte del calore che si sviluppa nel terminale a causa del saldatore, e che verrebbe di conseguenza convogliato all'interno del transistore fino a raggiungere il cristallo, viene invece assorbita dalla pinza e dispersa nell'aria. Detta

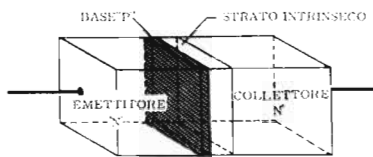



Fig. 10 - Rappresentazione schematica di un transistore del tipo «n-p-i-n». Si noti la presenza di uno strato intrinseco tra la base e il collettore.

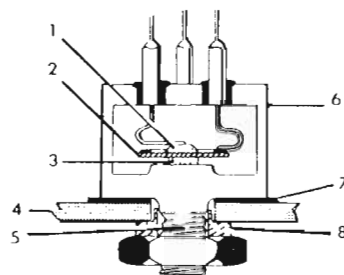



Fig. 11 - Esempio di fissaggio di un transistore, con sistema di raffreddamento. 1) Emettitore; 2) Base; 3) Collettore; 4) Telaio; 5) Perno di fissaggio; 6) Involucro; 7) Mica; 8) Guarnizione isolante.

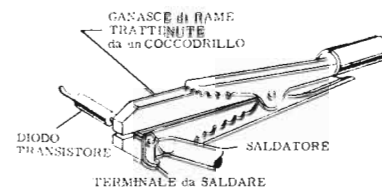



Fig. 12 - E' possibile provvedere ad un adeguato raffreddamento del terminale di un transistore, fissando due pezzi di rame ad una pinza a coccodrillo.

pinza viene poi lasciata al suo posto per almeno 20 secondi dopo aver effettuato la saldatura.

Le pinzette assorbenti dovrebbero essere sempre usate sia con i transistori che con i condensatori miniaturizzati; la lega per saldare deve essere del tipo 60/40 (60% di stagno e 40% di piombo), in quanto tale proporzione permette la minima temperatura di fusione, e deve essere disponibile sotto forma di filo preparato del diametro approssimativo di 2 millimetri.

E' necessario disporre di un'ottima illuminazione della superficie di lavoro, preferibilmente ad opera di una lampada da tavolo del tipo snodato; è inoltre particolarmente utile l'impiego di una grossa lente di ingrandimento, provvista di un supporto snodato, al fine di lasciare libere entrambe le mani dell'operatore.

Prima di effettuare il collaudo di funzionamento o il collegamento al circuito di ogni componente, è necessario che le caratteristiche di questi ultimi vengano accuratamente controllate. Nei circuiti a transistori, caratterizzati in genere da bassa impedenza, molti condensatori sono del tipo elettrolitico con bassissime tensioni di lavoro; un condensatore tipico di accoppiamento ha una capacità di 3μF con una tensione di lavoro di 3 o di 6 V, e le sue dimensioni approssimative sono di 3 mm di diametro e 12 mm di lunghezza. Il collegamento sia pure istantaneo di un ohmetro, azionato da una batteria superiore ai 20 volt, o di un capacimetro funzionante con una tensione di 50 V, provocherebbe l'immediato deterioramento di tale condensatore. Come avviene per tutti i condensatori elettrolitici, la polarità della tensione di prova è importante tanto quanto l'ammontare della tensione.

Prima di applicare qualsiasi tensione, é necessario accertare se il transistore è del tipo *p-n-p* o *n-p-n*. Come abbiamo visto, se le valvole hanno sempre un potenziale positivo sulla placca, e non possono essere danneggiate dalla eventuale applicazione alla stessa di un potenziale negativo, i transistori invece possono essere dei due tipi diversi, i quali funzionano con tensioni opposte ai vari elettrodi. In questo caso, la eventuale applicazione di una tensione a polarità invertita può deteriorarli irrimediabilmente se si superano i valori massimi di dissipazione di potenza nelle giunzioni, o i valori massimi consentiti della tensione inversa.

I transistori sono suscettibili di correnti transitorie intrinseche, come quelle causate da una improvvisa variazione dei segnale o dalla interruzione istantanea del collegamento dei terminali. Per questo motivo è sempre consigliabile staccare la tensione di alimentazione prima di collegare o di staccare il transistore. Se invece è necessario effettuare l'operazione di collegamento durante il funzionamento, come pure nel caso di distacco dei terminali, è opportuno attaccare o staccare innanzitutto il collegamento di base.

Il funzionamento dei transistori con segnali di basso livello può portare al fastidioso inconveniente dell'interferenza con segnali parassiti o comunque indesiderati. Durante le misure, è pertanto consigliabile munire i terminali degli strumenti di opportuni filtri, onde evitare l'influenza di un eventuale trasmettitore locale o della tensione di rete.

La maggior parte degli strumenti di prova adatti al controllo di apparecchiature a transistori è alimentata a batterie. Allo scopo di evitare i rumori di fondo e le correnti di dispersione, è spesso utile iniettare i segnali di prova ai singoli stadi mediante accoppiamenti induttivi. A questo scopo, ai capi del generatore si collega una bobina che viene provvisoriamente accoppiata con un'altra induttanza appositamente inserita nel circuito del segnale.

E' necessario osservare alcune particolari precauzioni nel controllo delle tensioni e delle forme d'onda, e ciò è particolarmente importante a causa della compattezza delle apparecchiature a transistori. Infatti, a causa della minima distanza tra i terminali dei vari componenti, è possibile determinare, con i puntali del «tester» o con il cacciavite, dei cortocircuiti che possono dar luogo a correnti indesiderate, e al deterioramento di qualche componente.

La sensibilità al calore è — ripetiamo — uno degli inconvenienti più comuni ai circuiti a transistori. Per compiere eventuali controlli in merito, sarà sufficiente disporre di una scatola di metallo che, oltre a contenere una lampada da 60 watt circa, possa racchiudere lo apparecchio in esame. Prima di affermare che un apparecchio è stato riparato alla perfezione, è opportuno farlo funzionare alla massima temperatura consentita, creata appunto internamente alla scatola dalla lampada accesa. La maggior parte delle oscillazioni spurie si manifesta soltanto allorchè i transistori sono caldi, e sparisce non appena la temperatura è scesa ad un valore inferiore.

DOMANDE sulle LEZIONI 82ª e 83ª

N. 1 —
Cosa si intende per « elettrone - valenza » ?

N. 2 —
In quale modo possono essere definite le correnti negative e le correnti positive che si manifestano in un semiconduttore ?

N. 3 —
Cosa si intende per « semiconduttore » ?

N. 4 —
In quale caso un semiconduttore viene definito di tipo *p* o di tipo *n* ?

N. 5 —
Quanti tipi di diodi a cristallo esistono ?

N. 6 —
Quali sono i vantaggi di un diodo a cristallo nei confronti di un diodo a valvola ? Quali sono invece gli svantaggi ?

N. 7 —
Cosa si intende per tensione inversa ?

N. 8 —
Come si comporta, in condizioni normali, il germanio allo stato assolutamente puro ?

N. 9 —
Quali sono le conseguenze dell'aggiunta di impurità ad un cristallo di germanio o di silicio puro ?

N. 10 —
In cosa differiscono i diodi a giunzione, e i diodi a punta di contatto ?

N. 11 —
Quali sono le caratteristiche che distinguono il transistore da un diodo ?

N. 12 —
A che cosa possono essere paragonati gli elettrodi di un transistore ?

N. 13 —
Quanti tipi di transistori esistono ?

N. 14 —
Quale è la differenza tra i transistori *p-n-p* ed i transistori *n-p-n* ?

N. 15 —
Quale è la differenza che sussiste tra un transistore a giunzione ed uno a punta di contatto ?

N. 16 —
Come è possibile regolare la corrente di collettore in un transistore ?

N. 17 —
In base a quale caratteristica è possibile ottenere amplificazione da parte di un transistore ?

N. 18 —
Quale è la caratteristica del transistore tetrodo, che lo distingue dal transistore normale ?

N. 19 —
Cosa si intende per limite « alfa » di frequenza ?

N. 20 —
Cosa si intende per « resistenza negativa » ?

RISPOSTE alle DOMANDE di Pag. 641

N. 1 — Due: metodi diretti e metodi indiretti.

N. 2 — Tre: variazione di capacità, variazione di induttanza e variazione di reattanza.

N. 3 — Il metodo indiretto consiste nel far variare lo angolo indiretto di fase dell'oscillazione prodotta. Tale variazione viene successivamente convertita in una modulazione della frequenza.

N. 4 — La stabilizzazione con controllo a quarzo è possibile soltanto col metodo indiretto, in quanto i metodi diretti sono in antitesi col principio di impiego di un cristallo come stabilizzatore di frequenza.

N. 5 — Otto: il preamplificatore ad Alta Frequenza, il mescolatore, l'oscillatore locale, l'amplificatore a Media Frequenza, il limitatore, (quest'ultimo solo se il rivelatore è del tipo a discriminatore), il rivelatore, l'amplificatore a Bassa Frequenza e l'alimentatore.

N. 6 — Quando non conduce, ossia quando si comporta come un circuito aperto.

N. 7 — Quando la tensione presente sulla placca non ha un valore sufficiente per determinare un passaggio di corrente.

N. 8 — Perchè il discriminatore, a differenza del rivelatore a rapporto, è sensibile alle variazioni di ampiezza del segnale da rivelare.

N. 9 — Nel prelevamento di una parte della tensione di segnale presente nel discriminatore, e nell'applicarla al modulatore di reattanza. In tal modo viene variata proporzionalmente la frequenza dell'oscillatore locale, il che mantiene costante la frequenza di sintonia.

N. 10 — Due: il sistema basato sull'impiego di un voltmetro ad alta resistenza per la misura del segnale di uscita, e quello visuale, basato invece sull'impiego di un oscillografo.

N. 11 — Il sistema visuale, in quanto consente di vedere, e quindi di regolare perfettamente, la curva di responso dei vari trasformatori di Media Frequenza.

N. 12 — Il segnale A.F. fornito deve avere un'ampiezza costante, ossia la modulazione B.F. deve essere esclusa.

N. 13 — Deve avere la forma ad « S », con estremità arrotondate, e la massima estensione del tratto rettilineo.

N. 14 — Si. In tal caso esso deve coincidere col centro del tratto rettilineo della curva. Il segnale deve perciò avere il valore nominale della Media Frequenza.

N. 15 — Tre: quello a frequenza centrale, e due di valori corrispondenti alle frequenze massima e minima della banda passante.

N. 16 — In assenza di modulazione il segnale all'uscita del rivelatore deve essere nullo.

TABELLA 78 - SIMBOLI RELATIVI alle CARATTERISTICHE dei TRANSISTORI

La tabella qui riportata elenca la maggior parte dei simboli adottati dai fabbricanti americani ed europei per esprimere le caratteristiche statiche e dinamiche dei transistori. Tali caratteristiche vengono normalmente denominate *parametri*, in quanto rappresentano i valori tipici, in funzione dei quali è possibile ottenere determinate condizioni di funzionamento.

Purtroppo, fino ad ora, non è stato possibile unificare i simboli così come è stato fatto per le valvole. In realtà, ciò è dovuto al fatto che nei confronti dei transistori, le caratteristiche sono in gran parte subordinate alla temperatura di funzionamento, in quanto dipendono anche dalla temperatura ambiente.

Consultando i dati di funzionamento enunciati nei confronti di un determinato transistore sui bollettini appositi, il lettore troverà vari simboli il cui significato si intende implicitamente noto. La presente tabella rivelerà pienamente la sua grande utilità in tali occasioni, proprio in quanto consentirà di stabilire a quale caratteristica corrisponde ciascuno di essi.

Si noti che vari *parametri*, diversi tra loro, rappresentano la medesima grandezza. Ciò per il fatto che — ripetiamo — non si é ancora provveduto ad una unificazione internazionale.

RELATIVI all'AMPLIFICAZIONE

α . . . . = Coefficiente di amplificazione di corrente

β . . . . . . = Coefficiente di amplificazione della corrente di base

α_{FB} opp. α_{fb} = Coefficiente di amplificazione di corrente, con base a massa

α_{FE} opp. α_{fe} = Coefficiente di amplificazione di corrente, con emettitore a massa

$F\alpha_{b}$ . . . . . = Frequenza di taglio del fattore α_{fb}

$f\alpha_{e}$ . . . . . = Frequenza di taglio del fattore α_{fe}

$f\alpha_{co}$ . . . . . = Frequenza di taglio del fattore α

f_{hfe} . . . . . = Frequenza di taglio, con emettitore a massa

f_{hfb} . . . . . = Frequenza di taglio, con base a massa

G_{e} . . . . . . = Guadagno di potenza, con emettitore a massa

G_{b} . . . . . . = Guadagno di potenza, con base a massa

C_{Ge} . . . . . = Guadagno di conversione, con emettitore a massa

RELATIVI alla CAPACITA'

C_{c} . . . . . . = Capacità interna alla giunzione del collettore

C_{ob} . . . . . = Capacità tra il collettore e la base

C_{oe} . . . . . = Capacità tra il collettore e l'emettitore

$r'_{b}C_{c}$ . . . . = Costante di tempo data dal prodotto della resistenza interna di base e la capacità del collettore

RELATIVI alle CONDIZIONI di FUNZIONAMENTO

Con base a massa

h_{11b} . . . . . = Impedenza di ingresso, con uscita in corto circuito

h_{12b} . . . . . = Rapporto di reazione di tensione, con ingresso aperto

$-h_{21b}$ . . . . = Coefficiente di amplificazione di corrente, con uscita in corto circuito

h_{22b} . . . . . = Ammettenza di uscita, con ingresso aperto

h_{ib} . . . . . . = Impedenza di ingresso, con uscita in corto circuito

h_{ob} . . . . . = Ammettenza di uscita, con ingresso aperto

h_{fb} . . . . . = Coefficiente di amplificazione di corrente, con uscita in corto circuito

h_{rb} . . . . . = Rapporto di reazione di tensione, con ingresso aperto

Con emettitore a massa

h_{11e} . . . . . = Impedenza di ingresso, con uscita in corto circuito

h_{12e} . . . . . = Rapporto di reazione di tensione, con ingresso aperto

h_{21e} . . . . . = Coefficiente di amplificazione di corrente, con uscita in corto circuito

h_{22e} . . . . . = Ammettenza di uscita, con ingresso aperto

h_{ie} . . . . . . = Impedenza di ingresso, con uscita in corto circuito

h_{fe} . . . . . = Coefficiente di amplificazione di corrente, con uscita in corto circuito

h_{oe} . . . . . = Ammettenza di uscita, con ingresso aperto

h_{re} . . . . . = Rapporto di reazione di tensione, con ingresso aperto

RELATIVI alla CONDUTTANZA

G_{i} opp. g_{i} = Conduttanza di ingresso

G_{o} opp. g_{o} = Conduttanza di uscita

RELATIVI alla CORRENTE

I_{B} . . . . . . = Corrente di base

I_{b} . . . . . . = Corrente istantanea di base

I_{C} . . . . . . = Corrente di collettore

I_{c} . . . . . . = Corrente istantanea di collettore

I_{CBO} . . . . = Corrente inversa di saturazione di collettore, con circuito di emettitore aperto

I_{CER} . . . . . = Corrente di collettore, con base a massa, e con polarizzazione inversa

I_{CES} . . . . . = Corrente di collettore, con base in corto circuito con l'emettitore

I_{CEO} . . . . = Corrente inversa di saturazione di collettore, con circuito di base aperto

I_{CPG} . . . . . = Corrente media di collettore, riferita ad un determinato guadagno di potenza

I_{co} . . . . . . = Corrente inversa di saturazione di collettore, con circuito di emettitore aperto
I_E . . . . . . = Corrente di emettitore
I_e . . . . . . = Corrente istantanea di emettitore
I_{EO} . . . . . = Corrente di emettitore, con polarizzazione inversa ed uscita aperta
I_i . . . . . . = Corrente alternata di ingresso
I_{im} . . . . . . = Valore di cresta della corrente alternata di ingresso
I_o . . . . . . = Corrente alternata di uscita
I_s . . . . . . = Corrente erogata dalla sorgente di alimentazione

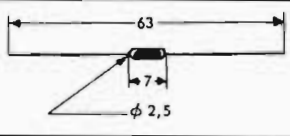
RELATIVI alla POTENZA

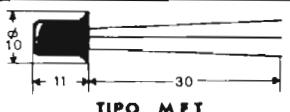
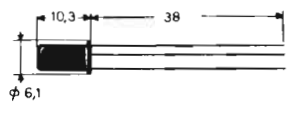
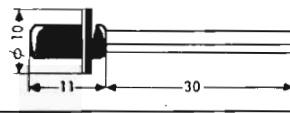
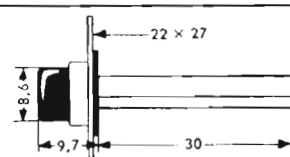
P_C . . . . . = Potenza dissipata nel circuito del collettore
P_c . . . . . . = Potenza di uscita nel circuito del collettore
P_i . . . . . . = Potenza di ingresso
Po . . . . . = Potenza di uscita
Ps . . . . . . = Potenza dissipata per alimentazione
P_T . . . . . = Potenza totale media, per funzionamento continuato

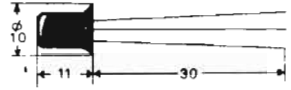
RELATIVI alla RESISTENZA

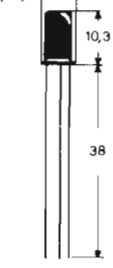
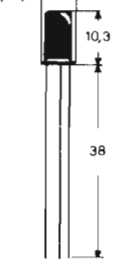
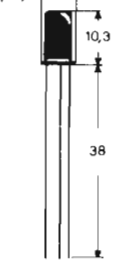
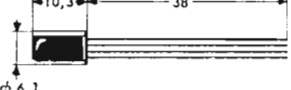
R_B opp. R_b = Resistenza esterna di base
r_b . . . . . . = Resistenza interna equivalente di base
R_{BB} opp. R_{bb} = Resistenza tra le due basi, in un «push-pull»
r'_bC_c . . . . = Costante di tempo data dal prodotto tra la resistenza interna di base, e la capacità del collettore
R_{BE} opp. R_{be} = Resistenza tra base ed emettitore
R_C opp. R_c = Resistenza di carico del collettore
r_c . . . . . . = Resistenza interna equivalente del collettore
R_{cc} . . . . . = Resistenza di carico tra i due collettori, in un «push-pull»
R_{ce} . . . . . = Resistenza tra collettore ed emettitore
R_E opp. R_e = Resistenza esterna di emettitore
r_e . . . . . . = Resistenza interna equivalente di emettitore
R_i . . . . . . = Resistenza di ingresso
R_m opp. r_m = Resistenza interna equivalente di riferimento
R_{SC} . . . . . = Resistenza di saturazione del collettore
Z_i . . . . . . = Impedenza di ingresso
Z_o . . . . . . = Impedenza di uscita

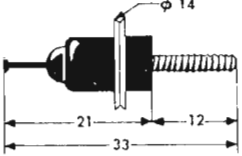
RELATIVI alla TEMPERATURA

T_a opp. T_{amb} = Temperatura ambiente
T_c . . . . . . = Temperatura dell'involucro esterno
T_j opp. T_g = Temperatura della giunzione
ΔT_j opp. ΔT_g = Variazione della temperatura della giunzione
T_{stg} opp. T_m = Temperatura di magazzinaggio

RELATIVI alla TENSIONE

V_B opp. V_b = Tensione di base
V_{bb} . . . . . = Tensione tra le due basi, in un « push-pull »
V_{BBE} . . . . = Tensione di alimentazione tra base ed emettitore
V_{BE} opp. V_{be} = Tensione di base, con emettitore a massa
V_C opp. V_c = Tensione di collettore
V_{CB} opp. V_{cb} = Tensione di collettore, con base a massa
V_{CBO} . . . . = Tensione tra collettore e base
V_{CC} opp. V_{cc} = Tensione tra i collettori, in un « push-pull »
V_{CCB} . . . . = Tensione di alimentazione del collettore, con base a massa
V_{ccb} . . . . . = Tensione di alimentazione, tra collettore e base
V_{CCE} . . . . = Tensione di alimentazione del collettore, con emettitore a massa
V_{cce} . . . . . = Tensione di alimentazione, tra collettore ed emettitore
V_{CE} . . . . . = Tensione di collettore, riferita ad un determinato valore di impedenza tra base ed emettitore
V_{ce} . . . . . = Tensione di collettore, con emettitore a massa
V_{CEO} . . . . = Tensione tra collettore ed emettitore
V_{CEK} . . . . = Tensione di collettore, in corrispondenza del gomito della curva caratteristica
V_E opp. V_e = Tensione di emettitore
V_{ee} . . . . . = Tensione tra gli emettitori, in un « push -pull »
V_{hf} . . . . . = Tensione ad Alta Frequenza
V_i . . . . . = Tensione alternata di ingresso
V_{im} . . . . . = Valore di cresta della tensione alternata di ingresso
V_o . . . . . . = Tensione alternata di uscita
V_{osc} . . . . . = Tensione dell'oscillatore
V_s . . . . . . = Tensione fornita dalla sorgente di alimentazione
BV_{CBO} . . . = Tensione di rottura tra collettore e base
BV_{CEO} . . . = Tensione di rottura tra collettore ed emettitore

VARI

B . . . . . . = Larghezza di banda
d . . . . . . = Fattore di distorsione
F opp. f . . = Fattore di fruscio
k . . . . . . = Aumento della temperatura alla giunzione, per unità di potenza dissipata
K . . . . . . = Resistenza termica totale
f_{max} . . . . . = Massima frequenza di oscillazione
N.F. . . . . . = Fattore rumore (« Noise figure »)
η . . . . . . = Fattore di rendimento
BV_{CBO} . . . = Tensione di rottura tra collettore e base
BV_{CEO} . . . = Tensione di rottura tra collettore ed emettitore

CARATTERISTICHE dei DIODI AL GERMANIO di PRODUZIONE « MISTRAL »

63 / 7 / φ 2,5 — UTILIZZAZIONE	TIPO	LIMITI ASSOLUTI A 25 °C — Massima tensione inversa (V)	Massima corrente diretta (mA)	MINIMA CORRENTE DIRETTA (mA)	MASSIMA CORRENTE INVERSA (µA)	
USO GENERALE	SFD 112	40	20	5 (1 V)	20 (5 V-25 °C)	500 (50V-25 °C)
	1 N 127	100	30	3 (1 V)	25 (10 V-25 °C)	300 (50V-25 °C)
Rivelatore B. F.	SFD 106	25	30	5 (1 V)	10 (2 V - 25 °C)	200 (25V-25 °C)
	SFD 107	25	20	5 (1 V)	20 (5 V - 25 °C)	500 (25V-25 °C)
Rivelatore video	SFD 104	25	30	7 (1 V)	6 (2 V - 25 °C)	300 (18V-25 °C)
	1 N 60	25	30	7 (1 V)	6 (2 V - 25 °C)	300 (18V-25 °C)
Discriminatore F.M. (in coppia)	SFD 111	25	30	10 (1 V)	1 (1 V - 25 °C)	300 (18V-25 °C)
	SFD 115	45	30	7 (1 V)	1 (0,4V - 25 °C)	60 (30V-25 °C)
Rivelazione ad alta impedenza	SFD 110	45	30	5 (1 V)	1 (0,1V - 25 °C)	350 (45V-25 °C)
Commutazione	SFD 105	30	30	3 (1 V)	150(15V-55 °C)	500 (30V-55 °C)
	SFD 109	90	30	5 (1 V)	40 (10 V-60 °C)	250 (90V-25 °C)
Alta tensione	SFD 108	115	30	5 (1 V)	7 (10 V - 25 °C)	250(10025V-°C)
Alta temperatura	1 N 198	100	30	5 (1 V)	65 (10V-75 °C)	350 (80V-75 °C)
Mescolatore U.H.F. 900 MHz	SFD 117	2	55	Fattore di rumore a 500 MHz = 10 dB Resistenza diretta (a ID = 10mA) = 75 Ω Resistenza inversa (a Vi = -2 V) = 1500Ω		

CARATTERISTICHE dei TRANSISTORI al GERMANIO « MISTRAL » - PNP - per BASSA FREQUENZA

UTILIZZAZIONE	TIPO	LIMITI ASSOLUTI A 25 °C — Vcb max (Volt)	Ic max (mA)	Pc max (mW)	CARATTERISTICHE A 25 °C — h21 e - h21 E	F α (MHz)	Rbb' (Ω)	Cb'c (pF)	DIMENSIONI
Preamplificatori e Driver	MFT151/SFT351	24	150	200	30 (1 mA)	1,2	55	32	φ 10; 11; 30 — TIPO MFT
	MFT152/SFT352	24	150	200	50 (1 mA)	1,5	60	32	
	MFT153/SFT353	24	150	200	80 (1 mA)	2,5	75	32	
Push - Pull Classe B per stadi finali con potenze fino a 500 mW di uscita	MFT121/SFT321	24	250	200	30(100mA)	1,2	55	32	10,3; 38; φ 6,1 — TIPO SFT
	MFT122/SFT322	24	250	200	50(100mA)	1,5	60	32	
	MFT123/SFT323	24	250	200	80(100mA)	2,5	75	32	
	SFT 141	45	250	200	30(100mA)	1	55	32	φ 10; 11; 30
	SFT 142	45	250	200	50(100mA)	1,2	60	32	
Push - Pull Classe B per stadi finali con potenze fino ad 1 W di uscita	SFT 124	24	500	350	30(250mA)	1	50	60	φ 13; 9,7; 30
	SFT 125	24	500	350	70(250mA)	2	60	60	
Push - Pull Classe B per stadi finali con potenze fino a 2 W di uscita	SFT 130	24	500	550	30(250mA)	1	50	60	22 × 27; 8,6; 9,7; 30
	SFT 131	24	500	550	70(250mA)	2	60	60	

CARATTERISTICHE dei TRANSISTORI al GERMANIO « MISTRAL » - PNP - per ALTA FREQUENZA

UTILIZZAZIONE	TIPO	LIMITI ASSOLUTI A 25 °C			CARATTERISTICHE A 25 °C				DIMENSIONI
		Vcb max (Volt)	Ic max (mA)	Pc max (mW)	Guadagno	F α (MHz)	Rbb' (Ω)	Cb'c (pF)	
Amplificatori M.F. a 455 KHz	MFT106/SFT306	18	100	150	33 dB	3	85	9	φ 10; 11; 30 — TIPO MFT
	MFT107/SFT307	18	100	150	38 dB	6	90	9	
Convertitori A. F.	MFT108/SFT308	18	100	150	—	12	100	9	10,3; 38; φ 6,1 — TIPO SFT
Amplificatori A. F.	SFT 126	24	250	150	25 (1 mA)	5	70	9	φ 10; 11; 30
	SFT 127	24	250	150	35 (1 mA)	7	90	9	
	SFT 128	24	250	150	55 (1 mA)	12	110	9	

CARATTERISTICHE dei TRANSISTORI al GERMANIO « MISTRAL » - PNP - per ALTA FREQUENZA Tipi « DRIFT »

UTILIZZAZIONE	TIPO	Vcb max (Volt)	Ic max (mA)	Pc max (mW)	Guadagno	F α (MHz)	Rbb' (Ω)	Cb'c (pF)	DIMENSIONI
Convertitore O. C. fino a 23 MHz	SFT 317	20	10	150	—	35	30	2	φ 6,1; 10,3; 38
Amplificatore M.F. a 455 kHz	SFT 319	20	10	150	30 dB	30	40	2	
Convertitore O.M. - O.L. ed O.C. "banda espansa"	SFT 320	20	10	150	—	30	30	2	
Convertitore O. C. fino a 23 MHz	SFT 354	20	10	120	—	55	20	2	
Amplificatore M. F. a 10,7 MHz	SFT 316	20	10	120	25 dB	50	20	2	
Convertitore F.M. fino a 100 MHz nominali	SFT 357	20	10	120	—	70	20	2	
Amplificatore A. F.	SFT 358	20	10	120	14 dB	70	20	2	
Amplificatore M.F. per T.V. a 30 MHz	SFT 356	20	10	120	25 dB	50	20	2	
Amplificatore A.F. fino a 15 MHz per usi professionali	SFT 315	40	20	150	—	40	30	2	
Amplificatore A.F. fino a 30 MHz per usi professionali	2 N 384	35	10	120	20 dB	100	40	1,8	10,3; 38; φ 6,1

CARATTERISTICHE dei RADDRIZZATORI al GERMANIO di PRODUZIONE « MISTRAL »

				DIMENSIONI
Con aletta di raffreddamento	SFR 106	50	1,2 A	φ 14; 21; 12; 33
1ª colonna: max. tens. inversa, V.; 25° C 2ª colonna: max. corr. diretta, mA.; 25° C	SFR 106/1 » 106/2 » 105/1 » 105/2	50 50 100 100	5 A 7 A 4 A 6,5 A	

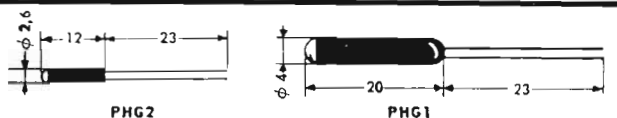
	SFR 151	100	0,5 A 55 °C
	» 152	200	0,5 A 55 °C
	» 153	300	0,5 A 55 °C
	» 154	400	0,5 A 55 °
	» 155	500	0,4 A 55 °C
	» 164	400	0,5 A 55 °C

RADDRIZZATORI « MISTRAL » al SILICIO

1ª colonna: max. tens. inversa, V.; 25° C

2ª colonna: max. corr. diretta, mA.; 25° C

FOTODIODI « MISTRAL »

PHG 1
PHG 2 30 mW - 25 °C - 100 mA / lumen

CARATTERISTICHE dei TRANSISTORI al GERMANIO « MISTRAL » - PNP - per BASSA FREQUENZA - Tipi di POTENZA

UTILIZZAZIONE	TIPO	LIMITI ASSOLUTI A 25 °C			CARATTERISTICHE A 25 °C				DIMENSIONI
		Vcb max (Volt)	Ic max (mA)	Pc max (mW)	h21e – h21E	f α (MHz)	Rbb' (Ω)	Cb'c (pF)	
AMPLIFICATORI B. F. o CONVERTITORI C. C.	SFT 212	30	3 A	30w *	40 (2 A)	0,2	—	200	39,4; 10; 11
	SFT 213	40	3 A	30w *	40 (2 A)	0,25	—	200	
	SFT 214	60	3 A	30w *	40 (2 A)	0,25	—	200	
	SFT 250	80	3 A	30w *	50 (2 A)	0,25	—	200	
	SFT 238	40	6 A	35w	30 (4 A)	0,35	—	130	
	SFT 239	60	6 A	35w *	30 (4 A)	0,35	—	130	
	SFT 240	80	6 A	35w *	30 (4 A)	0,35	—	130	
	SFT 265	40	15 A	70w *	20 (12 A)	0,3		200	ϕ 28; 12,5; 10; 11
	SFT 266	60	15 A	70w *	20 (12 A)	0,3	—	200	
* Temperatura della custodia 25° C	SFT 267	80	15 A	70w *	20 (12 A)	0,3	—	200	

NOTE GENERALI SULL'IMPIEGO dei TRANSISTORI

Grazie alla semplicità della loro struttura, i transistori presentano una lunga durata, tanto che essa può essere considerata praticamente indefinita. Questa fu subito l'opinione generale all'inizio della produzione. I dati di fatto oggi disponibili stanno ad indicare che tale affermazione può essere considerata in gran parte vera.

Le cause più comuni di deterioramento sono raramente spontanee, e quando si manifestano, ciò accade dopo un periodo di tempo relativamente lungo, pari cioè a diverse migliaia di ore di funzionamento. Le cause non spontanee possono invece essere dovute — ad esempio — all'aumento graduale della corrente di saturazione (pari alla corrente del collettore allorchè la corrente di base è zero).

Se da un canto i circuiti ad autopolarizzazione e quelli a polarizzazione fissa eliminano in parte tale inconveniente, dall'altro simili provvedimenti vanno a scapito sia del rendimento che dell'amplificazione. In un circuito di amplificazione, la polarizzazione della base diminuisce la possibilità di amplificazione, ed inoltre, man mano che si approssima al limite della polarizzazione automatica, si ha un notevole aumento graduale della distorsione.

Un'altra fonte di deterioramento dei transistori è l'alta temperatura. Con l'aumentare di quest'ultima, la corrente statica aumenta, determinando un aumento corrispondente dell'effetto termico sulla giunzione del collettore. Ciò aumenta, a sua volta, la corrente statica o naturale del transistore: in tal modo la corrente circolante raggiunge progressivamente un valore tale da determinare praticamente la distruzione del transistore.

Allo scopo di evitare quanto sopra, si usa spesso una resistenza di valore relativamente basso in serie allo emettitore, la quale compie una funzione analoga a quella della resistenza catodica nelle valvole, e limita l'intensità della corrente ad un valore di sicurezza.

Sebbene i transistori non richiedano il funzionamento sotto vuoto, essi tuttavia devono essere ermeticamente sigillati. La presenza di vapor d'acqua contaminerebbe immediatamente una giunzione mal protetta; si è trovato che la corrente di saturazione può raggiungere un valore di ben 100 volte superiore a quello normale che si verifica in presenza di sola aria assolutamente asciutta, se la percentuale di umidità ambientale sale invece al 50%.

HEATH COMPANY

a subsidiary of Daystrom, Inc.

RF Signal Generator

MODELLO

REQUISITI

- Portatile, preciso.
- Consigliato per il servizio tecnico.
- Modulazione interna ed esterna.

CARATTERISTICHE

GAMME DI FREQUENZA:

Banda A	100 kHz ÷ 320 kHz.
Banda B	310 kHz ÷ 1100 kHz.
Banda C	1 MHz ÷ 3,2 MHz.
Banda D	3,1 MHz — 11 MHz.
Banda E	10 MHz — 32 MHz.
Banda F	32 MHz — 110 MHz.
Armoniche tarate	100 MHz — 220 MHz.
Precisione	2%.

USCITA:

Impedenza	50 Ohm.
Tensione	eccedente 0,1 Volt (ogni banda).

MODULAZIONE:

Interna	400 Hz con una profondità di circa il 30%.
Esterna	3 Volt ai capi di 50 kΩ con una profondità di circa il 30%.
Uscita di BF a 400 Hz	circa 10 volt a circuito aperto.
Tubi impiegati	V1-12AT7 - oscillatore RF. V2-6AN8 - modulatore e stadio di uscita RF.
Alimentazione	105-125 Volt CA; 50 ÷ 60 Hz; 15 W.
Dimensioni della custodia in alluminio	larghezza cm. 16,2; altezza cm. 23,8; profondità cm. 12,5.
Peso netto	Kg. 2.

RAPPRESENTANTE GENERALE PER L'ITALIA

soc. r. l. **MILANO** P.zza 5 GIORNATE 1
Telefoni: 795.762 - 795.763

AGENTI ESCLUSIVI DI VENDITA PER: LAZIO - UMBRIA - ABRUZZI
Soc. FILC RADIO - ROMA
Piazza Dante, 10 - Telefono 736.771

EMILIA - MARCHE
Ditta A. ZANIBONI - BOLOGNA
Via Azzogardino, 2 - Telefono 263.359

Dal 1931 su tutti i mercati del mondo

IL RICEVITORE G 335

descritto alla lezione 71ª

è un modernissimo apparecchio, che può essere facilmente montato con piena sicurezza di risultati. Il mobile, di linea elegante, completa nel modo migliore la realizzazione. Questo ricevitore rappresenta la soluzione più conveniente – anche nei confronti degli apparecchi a transistori – nei casi di frequente e prolungato impiego.

Un altoparlante di alto rendimento e notevole uniformità di resa acustica, unitamente ad un circuito elettrico amplificatore dotato di correzioni e compensazioni opportunamente calcolate, conferisce al G 335 la particolare prerogativa di una eccellente riproduzione sonora. Riceve la gamma delle Onde Medie, con facilità di accordo su ampia scala parlante. Presenta 7 funzioni di valvola, 6 circuiti accordati, controllo di tono, possibilità di alimentazione da reti a corrente alternata da 100 a 230 volt. L'altoparlante è del tipo ellittico. Il mobile è in colore marrone con finiture, pannello frontale e bottoni, bianco avorio. Dimensioni di cm 37 x 20 x 24 e peso di 3,5 kg.

G 335/SM — **Scatola di montaggio**, completa di valvole e di ogni parte necessaria alla costruzione. Prezzo comprensivo di tasse radio e di imballo, porto escluso. . . . . Lire 12.600
Mobile marrone, completo per detto. Prezzo comprensivo di tasse e imballo. . . . . Lire 4.200

G 335 — **Ricevitore montato**, tarato e collaudato, completo di mobile. Prezzo, tasse radio comprese Lire 22.800

GELOSO S.p.A. - Viale Brenta, 29 - Telefoni 563.183/4/5/6/7 - MILANO (808)